



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRICOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

## CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

POSTGRADO EN

INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

## ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS VÍBORAS DE CASCABEL (*Crotalus* spp.) EN ZACATECAS, MÉXICO

JESÚS LENIN LARA GALVÁN

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

Salinas de Hgo., San Luis Potosí, México

Noviembre, 2018



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

## CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el (la) que suscribe Jesús Lenin Lara Galván, alumno(a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del (la) Profesor(a) Dr. Juan Felipe Martínez Montoya, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis:

Estado de conservación de las víboras de cascabel (*Crotalus spp.*) en Zacatecas, México y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El (la) Consejero (a) o Director (a) de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, a 12 de noviembre de 2018.

Firma

Vo. Bo. Profesor(a) Consejero(a) o Director(a) de Tesis

La presente tesis titulada: "ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS VÍBORAS DE CASCABEL (*Crotalus* spp.) EN ZACATECAS, MÉXICO", realizada por el alumno: JESÚS LENIN LARA GALVÁN bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
DR. JUAN FELIPE MARTÍNEZ MONTOYA

DIRECTOR DE TESIS

\_\_\_\_\_

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOSÉ JESÚS SIGALA RODRÍGUEZ

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. OCTAVIO CÉSAR ROSAS ROSAS

ASESORA

  
\_\_\_\_\_  
DRA. ANA MÁRCIA ENES BARBOSA

Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, noviembre de 2019

# ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS VÍBORAS DE CASCABEL (*Crotalus spp.*) EN ZACATECAS, MÉXICO

Jesús Lenin Lara Galván, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2018

En aspectos de diversidad herpetofaunística, México destaca notoriamente, sobre todo al ser el país con la mayor cantidad de reptiles venenosos a nivel mundial. El género *Crotalus* está muy bien representado en este país, donde se distribuye el 90% de las especies que lo integran. Estos organismos son objeto de bastante interés en diversos aspectos como el ecológico, donde son catalogados como controladores naturales de plagas, o desde el ámbito biológico y la relación de patrones de distribución con la diversidad de especies. Así mismo, es importante destacar su papel clave en el ámbito cultural, social y alimenticio del país, ya que en torno a estos organismos giran historias, creencias, mitos y realidades. Lo anterior convierte a las víboras de cascabel en un grupo ideal de estudio. Por lo tanto, este proyecto tuvo como objetivo conocer la distribución actual y potencial de las nueve especies de *Crotalus* presentes en Zacatecas; lo cual fue posible gracias al uso de modelados de distribución de especies, al generarse mapas de distribución potencial. Éstos fueron clave para la determinación de áreas de mayor y menor diversidad a nivel estatal para cada una de estas especies, logrando indagar en aquellas zonas con potencial de distribución para la obtención de una mayor cantidad de registros de ocurrencia e información sobre su ecología, biología del comportamiento, conocimiento local y usos tradicionales en torno a estos organismos. Los municipios de Fresnillo, Sombrerete y Valparaíso fueron los que presentaron una mayor cantidad de especies, de las cuales *C. atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus* y *C. scutulatus* fueron las que mayor número de registros de ocurrencia presentaron en la entidad. Finalmente, se identificaron los principales usos medicinales y comerciales de estas especies, además de una colección de mitos y creencias que se tiene sobre estos organismos en las distintas localidades visitadas. Logrando con ello, tener un primer acercamiento al estado de conservación de estos organismos en Zacatecas.

## **Palabras clave:**

Conservación, distribución de especies, etnobiología, diversidad, víboras de cascabel, Zacatecas.

# CONSERVATION STATE OF RATTLESNAKE (*Crotalus* spp.) IN ZACATECAS, MEXICO

Jesús Lenin Lara Galván, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2018

Regarding herpetofaunal diversity, Mexico has an exceptional performance, especially since it is the country with the greatest number of venomous reptiles in the world. The *Crotalus* genus is well represented in the country, with 90 % of the species of the genus distributed throughout its territory. These organisms are of high interest from an ecological point of view, as they are catalogued as natural plague controllers, and also in terms of biology and the relationship between distribution patterns and species diversity. Additionally, it is noteworthy to highlight their key role in the cultural, social and alimentary fields, due to these organisms feature that many stories, beliefs, myths and realities around of them. All the aforementioned aspects make rattlesnakes an ideal study group. Therefore, this project aimed at gaining insight into the actual and potential distribution of the nine *Crotalus* species present in Zacatecas, which was possible thanks to the use of species distribution modelling that enabled the creation of potential distribution maps. These were useful to determine those areas with highest and lowest diversity in a state scale for each of the nine species. This information was subsequently utilised to investigate those zones with outstanding distribution potential, where new occurrences of these organisms were registered and further information concerning their ecology, behaviour biology, local knowledge and traditional uses was gathered. The municipalities of Fresnillo, Sombrerete and Valparaíso were found to exhibit the largest amount of species, among which *C. atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus* and *C. scutulatus* were the most frequently spotted ones in the entity. Finally, the principal medicinal and commercial uses of these species were identified, and a collection of myths and beliefs around these organisms in all the visited localities was compiled. This constitutes a first approach to the conservation state of these organisms in Zacatecas.

## **Key words:**

Conservation, species distribution, ethnobiology, diversity, rattlesnakes, Zacatecas.

## **DEDICATORIA**

*Con mucho cariño para mi mejor amiga. Siempre llena de alegría, amor y apoyo incondicional, la cómplice de mis locuras. El mejor regalo que la vida pudo darme, una Abuelita tan fuera de serie como tú. Gracias Hermi.*

*A mis padres, Mireya y Jesús por todo el apoyo brindando a lo largo de mi vida. A pesar de todo, y sin importar el tiempo y la distancia sé que siempre puedo contar con Ustedes y su amor. Por ser los mejores papás del mundo, estoy tan orgulloso de ser su hijo. Gracias por tanto.*

## **AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES**

A las instituciones que hicieron posible la realización del trabajo de investigación en esta memoria de tesis, por la ayuda económica brindada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, por permitirme continuar con mi formación académica.

Ao Departamento de Biologia da Universidade de Évora por me permitir fazer uso das suas instalações e realizar uma grande parte desta pesquisa além de colaborar na minha formação como investigador e a nível pessoal.

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Al Dr. Juan Fe, por su enorme paciencia y apoyo brindados. Por estar al pendiente de mi formación académica y personal. Por aventurarse en el mundo de los reptiles y su gran apoyo en el trabajo de campo, por guiarme a lo largo de la maestría. Pero sobre todo por nunca frenarme, ni decirme que no. Al contrario, alentarme a buscar aquello que me haga feliz y explote mi potencial; por creer en mí desde un inicio y sobre todo por permitirme contar con su amistad.

Para a Doutora Márcia, que desde o momento em que saí daquele comboio chegando a Hogwarts, sempre contei com seu apoio incondicional. Por me dar a oportunidade de aprender e melhorar. Pela sua paciência no momento de modelar e trabalhar com ferramentas que eu não conhecia. Pela sua grande colaboração e interesse neste projeto e pela sua excelente qualidade humana e amizade.

Al Dr. José Jesús Sigala Rodríguez y la M. C. Edith Esparza por la facilidad otorgada para el uso de registros de ocurrencia, además de su gran colaboración para este trabajo, sus revisiones y comentarios que sin duda alguna aumentaron la calidad del mismo.

Al Dr. Octavio Rosas por sus comentarios para la mejora de este escrito.

A Delia, Elizabeth, Mayra y Rodo por tantas risas y locuras a lo largo de estos dos años. Ustedes hicieron que mi paso por la maestría fuera genial. Muchas gracias por todo el apoyo brindado dentro y fuera del Colegio, por su comprensión y por ser los mejores con su increíble amistad.

Xabier Herrero, ezinezkoa denak denbora pixka bat gehiago eskatzen du. Zalantzarik gabe, mundua beste era batean ikusteko aukera eman didazu. Zure laguntasunak, ulerkuntzak, animoek eta batez ere zure motibazioak ezinbestekoak izan dira bide luze honetan eta egunetik egunera pertsona hobea izan nadin lagundu didate. Zure alboan, kaosean gauza zoragarriak topatzen ikasi dut. Honengatik eta beste arrazoi askorengatik, mila esker.

Helena Marques, minha grande amiga e professora de Português, Sabrina Mazzoni e Frederico Mestre, por tornarem a minha estadia em Évora algo incrível, pela sua ajuda e apoio com R, pelas palestras e pela grande amizade. Para ver a magia em todos os cantos dessa grande e misteriosa cidade. Hogwarts team!

A la Dra. Brenda (por su grandísima paciencia en la entrega de documentos), sus consejos y permitirme ser de sus favoritos. A Clarita, Alejandra Garza, Lidia, y Norma por su apoyo brindado durante mi paso por el Colegio, siempre de una manera muy atenta y con una gran sonrisa.



## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
<b>HIPÓTESIS</b>	<b>3</b>
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
Características de los reptiles	4
Riqueza de reptiles en México	4
Serpientes venenosas en México	5
Género <i>Crotalus</i>	5
Importancia de las víboras de cascabel	7
Estado actual y principales amenazas de las víboras de cascabel	7
Modelos de distribución de especies y su implicación en la conservación	8
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>9</b>
<b>ESPECIES DE ESTUDIO</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I. DISTRIBUCIÓN Y DIVERSIDAD DE LAS VÍBORAS DE CASCABEL (<i>Crotalus spp.</i>) EN ZACATECAS, MÉXICO</b>	<b>13</b>
Resumen	14
Abstract	15
Introducción	16
Métodos	18
Área de estudio	18
Recopilación de registros de presencia	19
Delimitación de los polígonos para el modelado	20
Modelado de distribución de especies (MDE)	20
Selección de variables predictoras	21
Evaluación de los modelos	22
Diversidad municipal	22
Verificación en campo de los modelos	23
Modelos de distribución de especies	25
Diversidad a nivel municipal	34
Discusión	36
Conclusiones	39

Recomendaciones	40
Agradecimientos	41
<b><i>CAPÍTULO II. USOS TRADICIONALES, CONOCIMIENTO LOCAL Y MITOS SOBRE LAS VÍBORAS DE CASCABEL (Crotalus spp.) EN ALGUNAS LOCALIDADES DE ZACATECAS, MÉXICO</i></b>	<b>46</b>
Resumen	47
Abstract	48
Introducción	49
Métodos	50
Área de estudio	50
Aplicación de entrevistas	51
Resultados	53
Conocimiento biológico local	56
Accidentes ofídicos	58
Implicaciones medicinales	58
Implicaciones de conservación	61
Mitos y percepciones	62
Cosmovisión	63
Discusión	64
Conclusiones	65
Agradecimientos	66
Referencias	66
<b><i>CONCLUSIONES GENERALES</i></b>	<b>68</b>
<b><i>REFERENCIAS GENERALES</i></b>	<b>70</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Registros de víboras de cascabel en el estado de Zacatecas. ....	10
<b>Figura 2.</b> Especies del género <i>Crotalus</i> presentes en Zacatecas: a) <i>C. aquilus</i> , b) <i>C. atrox</i> , c) <i>C. basiliscus</i> , d) <i>C. lepidus</i> , e) <i>C. molossus</i> , f) <i>C. polystictus</i> , g) <i>C. pricei</i> , h) <i>C. scutulatus</i> , i) <i>C. willardi</i> . ..	11
<b>Figura 3.</b> Ubicación del estado de Zacatecas, México. ....	19
<b>Figura 4.</b> Presencia y distribución potencial de <i>Crotalus aquilus</i> en Zacatecas, México. ....	26
<b>Figura 5.</b> Presencia y distribución potencial de <i>Crotalus atrox</i> en Zacatecas, México. ....	27
<b>Figura 6.</b> Presencia y distribución potencial de <i>Crotalus basiliscus</i> en Zacatecas, México. ....	28
<b>Figura 7.</b> Presencia y distribución potencial de <i>Crotalus lepidus</i> en Zacatecas, México. ....	29
<b>Figura 8.</b> Presencia y distribución potencial de <i>Crotalus molossus</i> en Zacatecas, México. ....	30
<b>Figura 9.</b> Presencia y distribución potencial de <i>Crotalus polystictus</i> en Zacatecas, México. ....	31
<b>Figura 10.</b> Presencia y distribución potencial de <i>Crotalus pricei</i> en Zacatecas, México. ....	32
<b>Figura 11.</b> Presencia y distribución potencial de <i>Crotalus scutulatus</i> en Zacatecas, México. ....	33
<b>Figura 12.</b> Presencia y distribución potencial de <i>Crotalus willardi</i> en Zacatecas, México. ....	34
<b>Figura 13.</b> Localidades de aplicación de encuestas en el estado de Zacatecas. ....	51
<b>Figura 14.</b> Aplicación de encuestas etnobiológicas (Ojocaliente, Zacatecas). ....	53
<b>Figura 15.</b> Época y sitios de avistamiento de víboras de cascabel por parte de las personas entrevistadas. ....	54
<b>Figura 16.</b> Principales razones de muerte a víboras de cascabel en Zacatecas, México. ....	55
<b>Figura 17.</b> Maneras más comunes de consumo de víboras de cascabel en Zacatecas. ....	59
<b>Figura 18.</b> Venta de víboras de cascabel en la ciudad de Zacatecas. ....	61
<b>Figura 19.</b> Muestreo de víboras de cascabel en Zacatecas, México (Fotografía de Emmeth Rodríguez-Pérez). ....	63

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Diversidad de reptiles en México (Flores-Villela & García-Vázquez, 2014). .....	5
<b>Cuadro 2.</b> Preferencias de hábitat de nueve especies de <i>Crotalus</i> en México (Campbell & Lamar, 2004). .....	12
<b>Cuadro 3.</b> Número de registros de presencia de especies del género <i>Crotalus</i> en Zacatecas utilizados para generar los modelos de distribución potencial. ....	24
<b>Cuadro 4.</b> Variables seleccionadas por la función <i>multGLM</i> del paquete <i>fuzzySim</i> , utilizadas en el modelado de distribución por especie de víbora de cascabel presentes en Zacatecas, México. ....	25
<b>Cuadro 5.</b> Diversidad de víboras de cascabel por municipio en Zacatecas, México, con base a los registros existentes. ....	35
<b>Cuadro 6.</b> Recopilación de información específica de cada especie de víbora de cascabel en Zacatecas. ....	55
<b>Cuadro 7.</b> Principales mitos y percepciones sobre las víboras de cascabel en Zacatecas, México. ....	62

## INTRODUCCIÓN GENERAL

A causa de su estratégica posición geográfica, México cuenta con una importante riqueza biológica (Sarukhán et al. 2009), albergando entre el 10% y el 12% de las especies conocidas de la Tierra. Es el segundo país con mayor número de especies de reptiles después de Australia (García-Vázquez & Méndez de la Cruz, 2016). Esta diversidad se debe a la privilegiada posición geográfica de México, en cuyo territorio convergen las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical. Aunado a ello, hay otros factores que incrementan su diversidad y número de endemismos, como son su accidentada topografía, variedad climática e historia evolutiva (Sarukhán et al. 2009). Aunque dicha riqueza de especies se encuentra distribuida en determinadas zonas (Mittermeier et al. 1997) que logran cumplir las condiciones ecológicas mínimas para su desarrollo.

A pesar de esta notoria riqueza en reptiles y de la importancia de la herpetología en México, los estudios disponibles sobre esta temática son escasos y Zacatecas no es la excepción, donde poco se sabe de los reptiles que ocurren en esta Entidad, al compararlo de estados como Chiapas, Oaxaca o Veracruz, donde la cantidad de registros es elevada y se tiene un mayor conocimiento de su herpetofauna en general (Flores-Villela & García-Vázquez, 2014).

Sin embargo, estos patrones de distribución han sido modificados a causa del acelerado crecimiento demográfico que México ha experimentado en el último siglo, estimándose una población de 120 millones de personas (SEGOB, 2014). Como consecuencia de esto, ha ocurrido un notorio cambio de uso de la tierra por la apertura de vías de comunicación y la expansión urbana, agrícola, ganadera, minera y turística, irrumpiendo en la modificación del hábitat, así como en las interacciones biológicas y ecosistémicas de los organismos (Trombulak & Frisell, 2000; Nellesmann, 2001; Arriaga, 2009). Las principales zonas con mayor afección por el cambio de uso de la tierra son el desierto y el semidesierto al norte del país (Arriaga, 2009), por lo que las distribuciones de los organismos que allí habitan han sido considerablemente modificadas. De acuerdo a (Campbell & Lamar, 2004) es también la región norte de México donde existe una mayor diversidad de especies de *Crotalus*, de las cuales en Zacatecas se distribuyen aproximadamente una quinta parte del total de las especies.

La conservación de estos ofidios es crucial, ya que sus poblaciones se han visto disminuidas, esto asociado al cambio de uso de la tierra que fragmenta sus hábitats, una comercialización ilegal y el

no ser consideradas como especies carismáticas, creando cierto temor a su alrededor y llevando al hombre a realizar una matanza indiscriminada (Paredes-García et al. 2011). Cabe señalar que estos organismos también representan un gran foco de atención, no sólo en México, sino a nivel mundial, por sus adaptaciones evolutivas; y por su importancia en el rubro de salud pública, donde su veneno es considerado de gran interés comercial. Finalmente, desde un aspecto cultural, giran a su alrededor una amplia colección de creencias y usos tradicionales.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se divide en dos capítulos. En el primero se dan a conocer de manera concisa los patrones de distribución de las víboras de cascabel del género *Crotalus* en Zacatecas, indicando los registros actuales e históricos de estos organismos, así como su distribución potencial con base a múltiples factores ecológicos. El segundo capítulo consta de una recopilación de los usos que se les da a las víboras de cascabel en Zacatecas, así como las principales creencias que giran a su alrededor. Con lo anterior se pretende dar a conocer la información básica ecológica y cultural, así como tener un primer acercamiento al estado de conservación de estos organismos en el Estado y sentar las bases para futuros estudios, planes de manejo y conservación de las víboras de cascabel en Zacatecas.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Conocer la distribución, diversidad e información etnobiológica de las víboras de cascabel (*Crotalus* spp.) en el estado de Zacatecas, México.

### **Objetivos específicos**

- Determinar los patrones de distribución registrada y potencial de las víboras de cascabel en Zacatecas.
- Identificar la diversidad de víboras de cascabel a nivel municipal en Zacatecas.
- Identificar los usos etnobiológicos, creencias y percepción que se tiene sobre las víboras de cascabeles en Zacatecas.

## **HIPÓTESIS**

1. Existe una relación entre las variables climáticas y topográficas con la distribución de las víboras de cascabel en Zacatecas.
2. El uso etnobiológico y la percepción sobre las víboras de cascabel en Zacatecas impacta de manera negativa en su conservación.

## **ANTECEDENTES**

### **Características de los reptiles**

Los reptiles son organismos amniotas, que presentan escamas o placas epidérmicas, algunas especies con osteodermos, con garras en los dedos, generalmente pentadáctilos, con cuatro extremidades, aunque en algunos casos presentan reducción o pérdida de las mismas (como algunas lagartijas y las serpientes). Los reptiles no poseen paladar secundario a excepción de los cocodrilos, tienen un cóndilo occipital y órganos copuladores a excepción del tuátara, entre otras características (Vitt & Caldwell, 2009).

Dentro del grupo de los reptiles se encuentran las serpientes, conjunto de organismos fácilmente distinguibles. Su cuerpo es alargado, carecen de extremidades, no tienen abertura óptica externa, no poseen esternón ni cintura pectoral, la mayoría carece también de cintura pélvica, tienen el pulmón izquierdo reducido y no poseen párpados (Flores-Villela & García-Vázquez, 2014). Además, han desarrollado varias adaptaciones relacionados a sus hábitos alimenticios, ya que tienen una prolongación en el glotis que les permite respirar mientras tragan a sus presas, que ingieren enteras (Vázquez-Díaz & Quintero-Díaz, 2005).

### **Riqueza de reptiles en México**

Como se mencionó con anterioridad, México posee una importante cantidad de especies de reptiles. Distribuyéndose alrededor del 44.9% de las familias de este grupo, repartidos en el 14% del total de géneros. En el Cuadro 1, se detalla la cantidad y clasificación de los reptiles presentes en México hasta el 2013, siendo más de la mitad (57 %) de las especies endémicas del país (Flores-Villela & García-Vázquez, 2014).



**Cuadro 1.** Diversidad de reptiles en México (Flores-Villela & García-Vázquez, 2014).

Orden	Suborden	Familias a nivel mundial	Familias en México	Géneros a nivel mundial	Géneros en México	Especies a nivel mundial	Especies en México
Testudines		15	10	97	19	332	48
Squamata	Lacertilia	37	18	529	48	5,851	417
	Amphisbaenia	6	1	19	1	184	3
	Serpentes	27	9	474	89	3,442	393
Archosauria	Crocodylia	3	2	9	2	25	3

### Serpientes venenosas en México

Además, México también es el país con mayor número de especies de reptiles venenosos que son peligrosos para el ser humano (Campbell & Lamar, 2004). Donde las serpientes son elementos importantes dentro de este grupo. En México, están presentes dos familias de serpientes venenosas: Elapidae que incluye a las corales y serpientes marinas; y Viperidae, representada por los géneros: *Agkistrodon*, *Atropoides*, *Bothrops*, *Bothriechis*, *Cerrophidion*, *Crotalus*, *Lachesis*, *Ophryacus*, *Porthidium* y *Sistrurus*. Organismos que poseen rasgos particulares como una cabeza triangular, debido al desarrollo de sus glándulas venenosas, cuentan además con una dentición solenoglifa, es decir, que están provistas de un par de colmillos retráctiles en forma de aguja hipodérmica que le permite la eficaz inoculación del veneno (Vázquez-Díaz & Quintero-Díaz, 2005).

### Género *Crotalus*

El género *Crotalus*, grupo en el cual se enfocó este estudio. Estos son organismos de gran interés para los herpetólogos, dichos reptiles se caracterizan principalmente por poseer un apéndice al extremo de su cola en forma de “cascabel”, atribuyéndole a esta condición el mote de víboras o serpiente de cascabel; para fines de nombramiento coloquial se referirá a ellas en este documento como víbora(s) de cascabel. Este apéndice es una serie de escamas altamente modificadas, cuya función es la generación de sonido como advertencia hacia sus depredadores.

En México el género *Crotalus* se encuentra bien representado, al distribuirse en su territorio 42 de las 47 especies descritas (Uetz, 2018), es el país con mayor diversidad de especies de víboras de cascabel del género *Crotalus*. Además, de acuerdo con (Campbell & Lamar, 2004) la mayor diversidad de estos organismos se concentra en el norte del país, específicamente en las cadenas montañosas de la Sierra Madre Occidental y en el Altiplano Mexicano, región que puede ser su centro de origen (Gloyd, 1940). Lo cual también es propuesto por (Place & Abramson, 2004), aseverando que la región correspondiente a la Sierra Madre Occidental es la zona ancestral y origen más probable, seguido del Altiplano Mexicano y en menor grado la Sierra Madre Oriental; es importante también mencionar la alta diversidad de estas especies en la Península de Baja California, particularmente en islas del Golfo de California y del Océano Pacífico Occidental, siendo la mayoría endémicas a estas regiones (Arnaud et al. 2008).

A la fecha existen varios trabajos relacionados con las víboras de cascabel en México, de los cuales se pueden citar el de (Paredes-García et al. 2011), el cual trata acerca de la representatividad de estos organismos en las áreas naturales protegidas de este país y la obra de (Valencia-Hernández, 2006) donde se hace mención sobre las principales características de estas víboras así como su distribución en el estado de Hidalgo. Algunas de las obras sobre la herpetofauna de las entidades colindantes con Zacatecas, son la de (Vázquez-Díaz & Quintero-Díaz, 2005) sobre los anfibios y reptiles de Aguascalientes y de igual para este grupo en Coahuila, donde se realizó un informe relacionado con su historia natural y distribución (Lemos Espinal, 2008); también existe literatura reciente sobre la herpetofauna de Durango (Lemos-Espinal et al. 2018), mencionando brevemente la presencia del género *Crotalus* en el Estado. Para la región noreste de México están los estudios referentes a este grupo de organismos y su presencia en el estado de Nuevo León de (Lazcano-Villarreal, 1996; Lemos-Espinal et al. 2016). Finalmente, se puede mencionar el trabajo de (Lemos-Espinal & Dixon, 2013) sobre la herpetofauna de San Luis Potosí, en donde se abordan temas relacionados a su ecología y aspectos biológicos, tocando de manera general su distribución puntual en el Estado.

A pesar de la importancia de la herpetología en México, para Zacatecas los estudios son mínimos y poco es lo que se sabe de los anfibios y reptiles que ocurren en este Estado. Sin embargo, en los últimos años se ha dado un incremento de estudios relacionados a esta temática como la recopilación de (Ahumada-Carrillo et al. 2011). También en la obra de (Campbell & Lamar, 2004)

se indica la distribución de varias especies de víbora de cascabel en Zacatecas, pero la información es muy general y no se mencionan especies ya reportadas como *Crotalus aquilus* (Carbajal-Márquez et al. 2015) *Crotalus basiliscus* (Ahumada-Carrillo et al. 2011; Carbajal-Márquez et al. 2015) y *Crotalus polystictus* (Bañuelos-Alamillo et al. 2016).

Desconcentrada

### **Importancia de las víboras de cascabel**

Las víboras de cascabel son un grupo de interés desde varios aspectos, como el ecológico, donde forman parte esencial de las cadenas tróficas, actuando como reguladores de organismos considerados plagas como algunas especies de roedores (Campbell & Lamar, 2004); aspectos de salud pública, ya que la mordedura de estos ofidios representa un grave problema epidemiológico, siendo *C. atrox* y *C. scutulatus* las especies de este género con mayor importancia médica en México (González-Rivera et al. 2009); además el veneno de estos organismos puede ser estudiado desde una amplia gama de usos, un ejemplo de ello son los antivenenos fabricados en México. Finalmente, se puede mencionar la importancia de las víboras de cascabel desde un ámbito cultural, estando presentes en las tradiciones de los mexicanos, creando en torno un sin fin de historias místicas y creencias reflejadas en la convivencia diaria con estos organismos.

### **Estado actual y principales amenazas de las víboras de cascabel**

A pesar de su importancia ecológica, en el rubro de salud pública y cultural, las víboras de cascabel han sufrido una importante reducción de sus poblaciones. De acuerdo a la NOM-059 de la (SEMARNAT, 2018) y de la Lista Roja de la (IUCN, 2018), la mayoría de las especies del género *Crotalus* se encuentran en algún estado de protección especial incluidas en las categorías de “amenazada” o “sujeta a protección especial”, ya sea por cuestiones relacionadas principalmente al cambio de uso de la tierra, comercialización ilegal, matanza indiscriminada y a una mala percepción de estos organismos. Hasta la fecha no se tiene un estudio completo que abarque aspectos de distribución de las víboras de cascabel en México (Paredes et al. 2011). No obstante, se cuenta con una reciente y magnífica obra de (Ávila-Villegas, 2017), donde se abordan algunos aspectos ecológicos y biológicos sobre las víboras de cascabel. Además, se hace mención de las

principales amenazas a este grupo. A pesar de ello, para Zacatecas la información es aún más escasa y poco se sabe de sus aspectos ecológicos, biológicos y etológicos. Aunado a la poca información documentada formalmente sobre accidentes ofídicos y culturales en torno a ellas. Por ello, es de vital importancia determinar los patrones de distribución de estos organismos, apoyándose con herramientas como los modelos de distribución de especies (MDE), que asegurarán un mejor entendimiento ecológico de estos organismos, así como los requerimientos específicos para su desarrollo. Es importante resaltar la importancia de conocer los patrones de distribución de estos reptiles en el Estado, ya que al contar con esta información es posible establecer mejores estrategias y planes que ayuden a promover su conservación a largo plazo en Zacatecas.

### **Modelos de distribución de especies y su implicación en la conservación**

Los modelos de distribución de especies (MDE) simulan un equilibrio entre la especie y el ambiente, es decir, que la especie ocupará aquellos hábitats que estén disponibles y sean favorables para su desarrollo y, estará ausente en aquellos hábitats no idóneos (Araujo & Pearson, 2005; Wiens et al. 2009). Dichos modelos se basan en las condiciones ambientales de los sitios de presencia (Phillips et al. 2006). De acuerdo (Elith et al. 2011), los MDE son aproximaciones matemáticas sobre el nicho ecológico de una especie. Estos modelos o algoritmos estadísticos se utilizan para hacer una relación entre la distribución de la especie y la distribución espacial de los predictores ambientales, es importante mencionar que dichos análisis se realizan bajo el supuesto de que la especie se distribuye, al menos en un tiempo corto, en equilibrio con los factores o variables predictivas sin presentar perturbación (Guisan & Theurillat, 2000).

Para este tipo de trabajos es indispensable conocer la biología de la especie en estudio, tales como sus requerimientos básicos, con la finalidad de hacer más eficiente la estrategia de muestreo y al momento de realizar el modelo de distribución, se da una idea más clara sobre las características que representan una mayor cantidad de información al mismo, es decir, el MDE se basa en aquellos gradientes que se cree que ejercen un mayor control en la distribución de la especie (Wessels et al. 1998), pudiéndose hacer un análisis preliminar sobre las condiciones que requiere la especie para su desarrollo. Otro aspecto importante para este tipo de estudios es el tamaño de la muestra, ya que

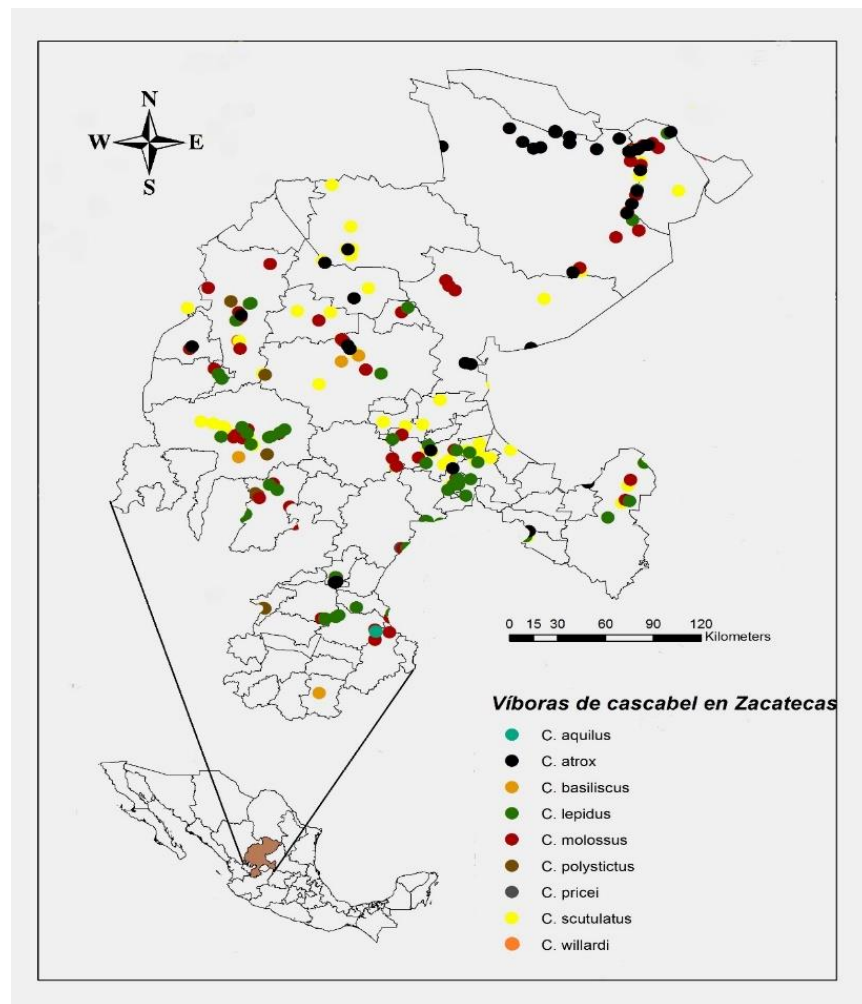
puede influir de manera significativa en los resultados (Hirzel & Guisan, 2002; McPherson et al. 2004; Pearson et al. 2007 y Wisz et al. 2008). La precisión de los MDE generalmente aumenta con el tamaño de la muestra, es decir, la cantidad de registros utilizados para modelar, primero de forma sustancial, y estabilizándose después hasta alcanzar la asíntota (Stockwell & Peterson, 2002).

Es indispensable tener claros los objetivos a la hora de modelar (Sillero et al. 2010), así como tener en cuenta para qué se desea conocer la distribución de una especie (determinar la distribución potencial, o sus factores limitantes) y cuáles serán los parámetros de modelación más adecuados para la(s) especie(s) en cuestión: datos de distribución, datos ambientales, área de estudio, método de modelación y resolución espacial. Los MDE constituyen un conjunto poderoso de herramientas analíticas que pueden tener varias aplicaciones en temas relacionados a la conservación y planificación de reservas, en ecología, evolución, epidemiología y gestión de especies invasoras (Yom-Tov & Kadmon, 1998; Cordi et al. 1999; Peterson & Cohoon, 1999; Scott et al. 2002; Welk & Schubert, 2002 y Peterson & Shaw, 2003). Finalmente, se puede mencionar la posibilidad de realizar trabajo de campo de manera eficiente en términos económicos y de tiempo. Por ejemplo: la identificación de áreas de distribución para especies consideradas raras y la predicción de los cambios en la distribución de un organismo (Elith et al. 2006; Areiras-Guerrero et al. 2016).

## **ÁREA DE ESTUDIO**

El estudio se realizó en el estado de Zacatecas (Figura 1), el cual se encuentra en la zona centro-norte de México, al norte limita con Durango y Coahuila; al este con Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí; al sur con Guanajuato, Jalisco y Aguascalientes y al oeste con Jalisco, Nayarit y Durango. Cuenta con una superficie de 74, 669 km<sup>2</sup>, es el octavo Estado con mayor extensión territorial (INEGI, 2017). En lo referido a sus recursos naturales, tres cuartas partes del territorio de Zacatecas corresponden a áreas áridas y semiáridas. El 14 % de estas ofrece las condiciones propicias para la agricultura, el 78 % para la ganadería y el 7 % corresponden a bosques maderables y no maderables. El paisaje se caracteriza por ser rocoso con profundos cañones con sierras y llanos (SGM, 2014). En Zacatecas están presentes varios tipos de suelo, entre los que se encuentran el Calcisol, el Cambisol, Chernozem, entre otros (INEGI, 2017).

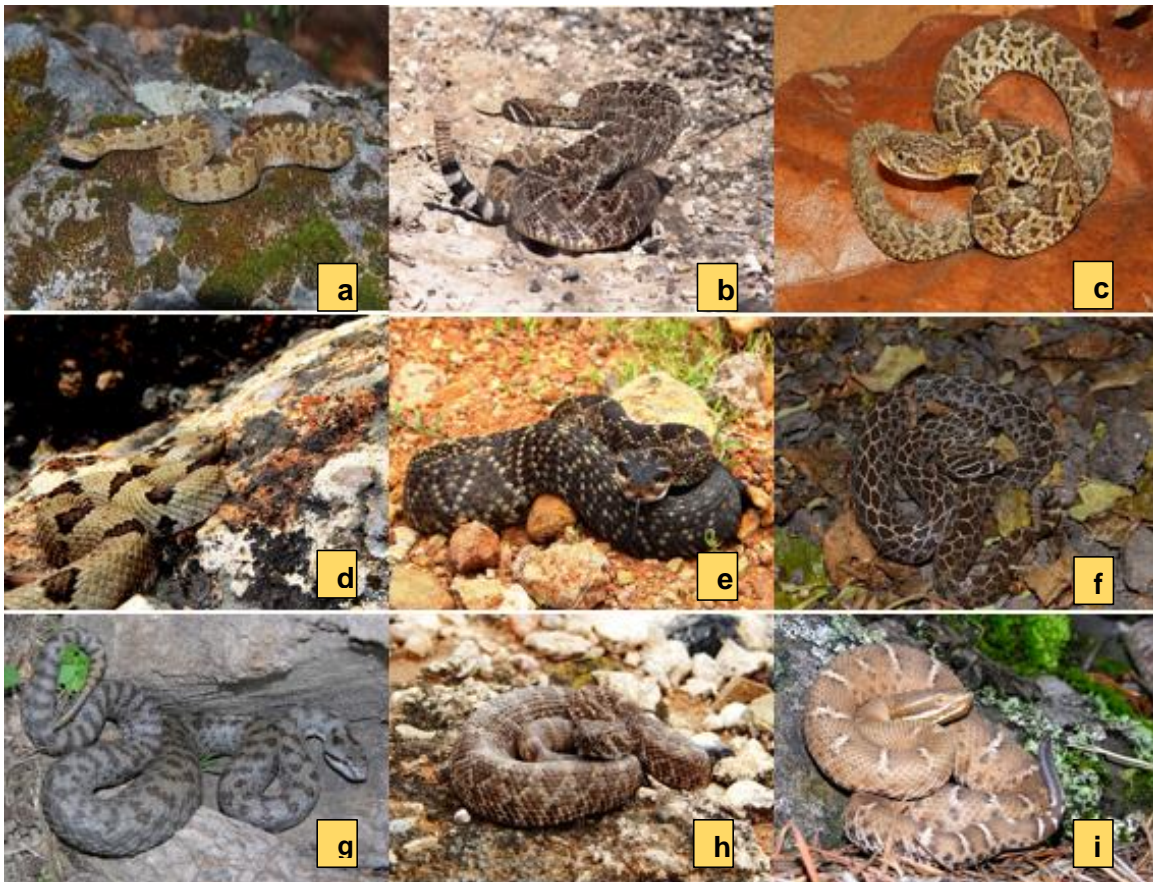
Zacatecas dispone de una superficie forestal de 5, 297 millones de ha, equivalentes al 70.62 % del territorio estatal. Los principales ecosistemas que integran esta superficie son: bosques de clima templado (19.67 %), selvas (6.31 %), matorral xerófilo (51.21 %) y otras áreas forestales (22.81 %), posicionando al Estado como el octavo lugar a nivel nacional en superficie forestal (SEIF, 2013). Dichos ecosistemas son hábitat de un gran número de plantas y animales con múltiples usos tradicionales, con un elevado valor ecológico y económico.



**Figura 1.** Registros de víboras de cascabel en el estado de Zacatecas.

## ESPECIES DE ESTUDIO

Este trabajo se realizó en torno a las nueve especies de víboras de cascabel (*Crotalus aquilus*, *C. atrox*, *C. basiliscus*, *C. lepidus*, *C. molossus*, *C. polystictus*, *C. pricei*, *C. scutulatus* y *C. willardi*) presentes en esta zona de estudio (Ávila-Herrera, 2012; Lara-Galván, 2015). Mostradas en la (Figura 2).



**Figura 2.** Especies del género *Crotalus* presentes en Zacatecas: a) *C. aquilus*, b) *C. atrox*, c) *C. basiliscus*, d) *C. lepidus*, e) *C. molossus*, f) *C. polystictus*, g) *C. pricei*, h) *C. scutulatus*, i) *C. willardi*.

Finalmente, se enlistan las preferencias de hábitat y rangos altitudinales de acuerdo a (Campbell & Lamar, 2004) en los que han sido encontradas las especies de víboras de cascabel en México (Cuadro 2), información clave para la realización de la verificación en campo.

**Cuadro 2.** Preferencias de hábitat de nueve especies de *Crotalus* en México (Campbell & Lamar, 2004).

<b>Especie</b>	<b>Hábitat</b>	<b>Rango altitudinal</b>
<i>Crotalus aquilus</i>	Preferencia por campos cubiertos de pastos y hábitats generalmente rocosos. Encontradas en bosque de pino-encino, zonas abiertas kársticas, prados montañosos de pastos y zonas pedregosas de mezquite-pastizal.	1,600 – 3,100 msnm.
<i>Crotalus atrox</i>	Encontradas en áreas que van desde llanuras costeras a laderas y cañones rocosos y en una variedad de tipos de vegetación incluyendo mezquites-pastizal, desierto, matorral desértico, áreas de arena y el bosque de pino-encino.	0 y 1,500 - 2, 440 msnm.
<i>Crotalus basiliscus</i>	Su hábitat va desde el bosque espinoso, bosque tropical caducifolio y la línea ecotonal entre el bosque tropical caducifolio y bosque de pino-encino.	0 y 600 – 2,400 msnm.
<i>Crotalus lepidus</i>	Encontrada en una gran variedad de hábitats, incluyendo bosques de pino-encino, mezquite-pastizales y el desierto (sólo en el Desierto Chihuahuense).	300-3,000 msnm.
<i>Crotalus molossus</i>	Bosque de pino-encino, bosque de pino-abeto, robles, bosque boreal, bosque de liquidámbar y encino, mezquite-pastizal, también se encuentran en las tierras altas del desierto de Sonora, chaparral, bosque tropical caducifolio, bosque espinoso.	0 – 2,930 msnm.
<i>Crotalus polystictus</i>	Se distribuyen en valles amplios, llanuras suavemente onduladas y prados de pastizal. A lo largo de tierras altas del Altiplano Mexicano en mezquite-pastizal, bosque de pino-encino, y aberturas en los bosques de pino comprendidos en su mayoría de afloramientos rocosos o antiguos flujos de lava.	1,450 – 2,600 msnm.
<i>Crotalus pricei</i>	Bosque de pino-encino, por lo general en áreas de rocas volcánicas o extensos afloramientos de piedra caliza; a menudo en zonas de talud.	1,850 – 3,203 msnm.
<i>Crotalus scutulatus</i>	Desértico, en yucas, pino piñonero-junípero, mezquite-pastizal y en la parte sur del bosque pino-encino.	0 y 1,800 – 2,500 msnm.
<i>Crotalus willardi</i>	Bosques de pino-encino, matorrales de roble, bosque de pino-abeto, bosques caducifolios, mezquite-pastizales y prados abiertos dentro de los bosques de pino-encino.	1,460 – 2,750 msnm.



**CAPÍTULO I. DISTRIBUCIÓN Y DIVERSIDAD DE LAS VÍBORAS DE CASCABEL  
(*Crotalus* spp.) EN ZACATECAS, MÉXICO**

# DISTRIBUCIÓN Y DIVERSIDAD DE LAS VÍBORAS DE CASCABEL (*Crotalus* spp.) EN ZACATECAS, MÉXICO

Jesús Lenin Lara-Galván<sup>1a</sup>, Juan Felipe Martínez-Montoya<sup>1b</sup>, A. Márcia Barbosa<sup>2\*</sup>, José Jesús Sigala-Rodríguez<sup>3</sup>, Citlalli Edith Esparza-Estrada<sup>3,4</sup>, Octavio César Rosas-Rosas<sup>1c</sup> y Lucía Ávila-Herrera<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Posgrado en Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Campus San Luis Potosí, Colegio de Postgraduados. Iturbide No. 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, CP. 78600, México. <sup>1a</sup> [phrynosomatidae17@gmail.com](mailto:phrynosomatidae17@gmail.com), <sup>1b</sup> [fmontoya@colpos.mx](mailto:fmontoya@colpos.mx), <sup>1c</sup> [octaviocr@colpos.mx](mailto:octaviocr@colpos.mx)

<sup>2</sup> CIBIO/InBIO, Universidade de Évora. 7004-516. Évora. Portugal. CICGE - Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais, Universidade do Porto, Portugal [barbosa@uevora.pt](mailto:barbosa@uevora.pt)

<sup>3</sup> Colección Zoológica. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. C.P. 20131, México. [jjsigala@gmail.com](mailto:jjsigala@gmail.com)

<sup>4</sup> Instituto de Ecología, A.C., Red de Biología Evolutiva, Laboratorio de Macroecología Evolutiva. Carretera Antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa, 91070, Veracruz, México. [calli.edithsita@gmail.com](mailto:calli.edithsita@gmail.com)

<sup>5</sup> Presidencia Municipal de Valparaíso. Constitución Sn, Capulín de la Sierra, 99200 Valparaíso, Zacatecas, México [luciernagafundidavila@hotmail.com](mailto:luciernagafundidavila@hotmail.com)

## Resumen

México posee un importante número de especies de reptiles y es también uno de los países con mayor diversidad de serpientes venenosas, donde destacan las víboras de cascabel del género *Crotalus*. De éstas, nueve especies se distribuyen en Zacatecas: *C. aquilus*, *C. atrox*, *C. basiliscus*, *C. lepidus*, *C. molossus*, *C. polystictus*, *C. pricei*, *C. scutulatus* y *C. willardi*. Estos reptiles representan un grupo de gran interés en el campo de la herpetología, debido a su importancia en los aspectos ecológicos, culturales y de salud pública. Sin embargo, sus poblaciones se encuentran amenazadas a causa de múltiples factores como la fragmentación de su hábitat o la matanza indiscriminada, por lo que la mayoría de las especies de este género se encuentran en alguna categoría de riesgo a nivel nacional e internacional. El objetivo de esta investigación fue determinar la distribución potencial y la diversidad de víboras de cascabel a nivel municipal en Zacatecas. Para ello, se analizó la distribución global de las nueve especies de víboras de cascabel mediante la construcción de modelos de distribución de especies, determinando la distribución potencial con base a un número específico de requerimientos ecológicos y localidades de presencia, los cuáles fueron utilizados para determinar la diversidad de especies potencialmente presente en cada municipio de la entidad. El 64.7 % de los municipios, es decir, 37 de 58,

registraron la presencia de al menos una especie de víbora de cascabel. Fresnillo, Sombrerete y Valparaíso fueron algunos de los municipios con mayor diversidad registrada, y *C. atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus* y *C. scutulatus* las especies con mayor presencia en el Estado, en contraparte con *C. basiliscus*, *C. pricei* y *C. willardi*, contando con pocos registros de ocurrencia y de las cuales se conoce poco sobre sus patrones de distribución en Zacatecas. Finalmente, se delimitaron las áreas con mayor potencial para la distribución de estos organismos, haciendo más eficaz en términos económicos y de tiempo el trabajo de campo, que permitirá obtener mayor información de utilidad para planes de manejo y conservación de estos organismos en Zacatecas.

**Palabras clave:**

Modelos de distribución de especies, conservación, víboras de cascabel, SIG.

**Abstract**

Mexico is home to a large number of reptile species and is also one of the countries having a greater diversity of venomous snakes, among which the rattlesnake pertaining to the *Crotalus* genus stand out. Of these, nine species are found in Zacatecas: *C. aquilus*, *C. atrox*, *C. basiliscus*, *C. lepidus*, *C. molossus*, *C. polystictus*, *C. pricei*, *C. scutulatus* and *C. willardi*. These reptiles represent a group of great interest within the field of herpetology, due to their relevance in terms of ecology, culture and public health. However, reptile populations are endangered as a result of multiple factors, such as habitat fragmentation and indiscriminate killing. Thus, most species within this genus are found in some type of risk category at the national and international level. The purpose of this study was to determine the potential distribution and diversity of rattlesnakes at the municipal level in the state of Zacatecas. For this, we analyzed the global distribution of nine rattlesnake species by building species distribution models, while determining potential distribution based on a specific number of ecological requirements and locations where snakes are present. The resulting models were used to determine the potential diversity of species in each municipality within the state. Thirty-seven (64.7%) out of fifty-eight of municipalities saw the presence of at least one rattlesnake species. Fresnillo, Sombrerete and Valparaíso were some of the municipalities showing greatest diversity. Moreover, *C. atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus* and *C. scutulatus* were the most widely found species in the state. On the other hand, *C. basiliscus*, *C.*

*pricei* and *C. willardi* were seen in low numbers and limited information is available on their distribution patterns within Zacatecas. Finally, the areas having a greater potential for distribution of these species were defined. This helped make more effective, both in terms of finance and time, the field work that permitted gathering useful data to prepare management and conservation plans for these species in Zacatecas.

**Key Words:** Species distribution models; conservation; rattlesnakes; Geographic Information System (GIS).

## Introducción

México es poseedor de una importante diversidad de reptiles y además cuenta con un alto grado de endemismos; hasta 2014 para México se reportaban 864 especies de reptiles (Flores-Villela & García-Vázquez, 2014). Los estados de Oaxaca (262), Chiapas (220) y Veracruz (200) presentan la mayor cantidad de especies, mientras Zacatecas sólo cuenta con registro de 64 especies (Flores-Villela & García-Vázquez, 2014). Dentro de los reptiles destacan los vipéridos y, particularmente en esta familia, las víboras de cascabel del género *Crotalus*. El cual se conforma hasta el 2018 por 47 especies, de las cuáles en México se reporta la distribución de 42 de ellas, siendo 27 especies endémicas del país (Uetz, 2018). Del total de las especies del género *Crotalus* reportadas para México, en Zacatecas se mencionan: *C. aquilus* (Carbajal-Márquez et al. 2015), *C. basiliscus* (Ahumada-Carrillo et al. 2011; Carbajal-Márquez et al. 2015); *C. atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus*, *C. polystictus* y *C. scutulatus* (Campbell & Lamar, 2004). Finalmente, con la información recopilada en este trabajo, se adicionan registros de *C. pricei* y *C. willardi* en Zacatecas.

Hasta ahora, los trabajos sobre víboras de cascabel en México se han enfocado a su distribución y representatividad en ANPs a nivel federal (Paredes-García et al. 2011), historia natural (Arnaud et al. 2008) y ecología (Secor, 2016). A pesar de ello y, en relación a las especies presentes en Zacatecas poco se conoce sobre su distribución y requerimientos ecológicos. Por otro lado, (Lemos-Espinal et al. 2018) mencionan que para Zacatecas no se cuenta con un listado reciente sobre su herpetofauna, sin embargo, se cuenta con una publicación de (Ahumada-Carrillo et al.

2011) donde se hace mención de la presencia de algunas especies de víboras de cascabel en el Estado; además de esto, no se cuenta con más investigaciones publicadas sobre este grupo en esta región.

A pesar de su importancia ecológica, en salud pública y en aspecto cultural, las víboras de cascabel han sufrido una importante reducción de sus poblaciones. De acuerdo a la NOM-059 de la SEMARNAT (2018) y de la Lista Roja de la IUCN (2018), la mayoría de las especies del género *Crotalus* se encuentran en alguna categoría de riesgo (Paredes-García et al. 2011), debido principalmente a la fragmentación de su hábitat por cambio de uso de la tierra, a la caza y comercialización ilegal, o a la matanza indiscriminada por la mala percepción de peligrosidad que se tiene de estos reptiles.

A la fecha, es poca la información referida a la biodiversidad general de Zacatecas, y el grupo de las víboras de cascabel presentes en esta entidad no es la excepción. Por lo que es imprescindible contar con un estudio detallado sobre los patrones de distribución de estos organismos en esta zona del país y, con ello, proponer estrategias adecuadas de manejo y conservación. Logrando aplicar estas herramientas en aspectos como la determinación de su presencia actual y potencial, así como los requerimientos ecológicos involucrados; o en el aumento de su conocimiento biológico y aspectos etológicos y de evolución; además adentrarse en áreas como la percepción etnobiológica e inclusive hasta en el rubro de salud pública en el Estado.

Para determinar dichos patrones, una de las formas es utilizar la técnica de modelos de distribución de especies (MDE). Es importante mencionar que los MDE se basan en el supuesto de que la distribución de una especie es el resultado, al menos en un lapso de tiempo corto, de un equilibrio entre factores que no han sufrido perturbación (Guisan & Theurillat, 2000). Los MDE se basan en las condiciones ambientales de los sitios de presencia (Phillips et al. 2006), representando una aproximación matemática del nicho ecológico de la especie (Elith et al. 2015), relacionando la distribución de la especie con la distribución espacial de los predictores o variables ambientales utilizadas para generar el modelo.

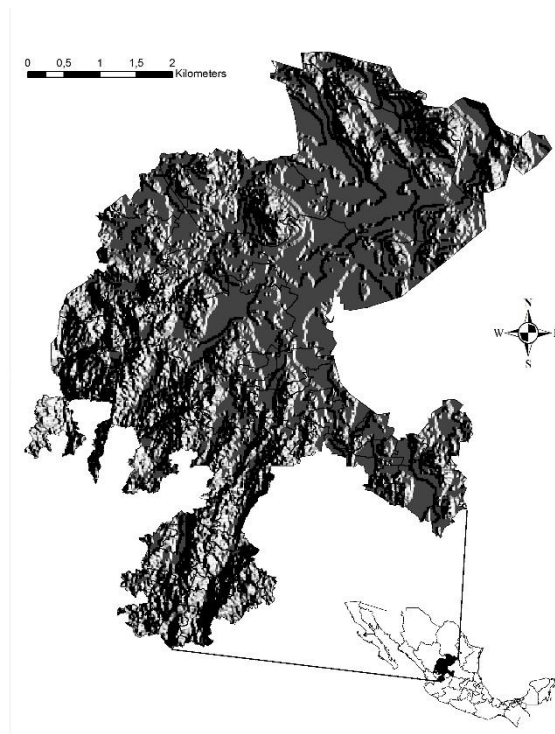
Los modelos de distribución son comúnmente utilizados en diversas áreas de la biología, incluyendo las evaluaciones de biodiversidad a varios niveles, para la priorización de conservación de especies, en los campos de la biología evolutiva, en epidemiología, en biología del cambio

global y de vida silvestre (Araújo & Peterson, 2012). Para generar información útil para el manejo y conservación de las víboras de cascabel en el estado de Zacatecas, se planteó determinar, mediante MDE, la distribución potencial de *Crotalus aquilus*, *C. atrox*, *C. basiliscus*, *C. lepidus*, *C. molossus*, *C. polystictus*, *C. pricei*, *C. scutulatus* y *C. willardi* y estimar la diversidad de *Crotalus* por municipio del Estado.

## **Métodos**

### **Área de estudio**

El área de estudio comprende el estado de Zacatecas, el cual se ubica en la zona centro-norte de México (Figura 3), representando el 3.7 % de la superficie del país. La altitud de esta Entidad oscila entre los 800 y los 3,120 msnm. Zacatecas posee diversos tipos de climas: en la región central del Estado, el clima es frío y semiárido. En la zona noroeste el clima es caliente e igualmente semiárido. En la porción noreste de Zacatecas, el clima es desértico y caliente, con una temperatura media anual de 19° C y una precipitación de 289 mm anuales. Finalmente, hacia la zona de las cañadas pertenecientes a la zona suroeste del Estado, se presenta un clima mediterráneo de verano y cálido, siendo esta la parte que mayormente contrasta con el resto de la Entidad (Climate Data, 2018). Lo anterior puede deberse a que en el territorio estatal confluyen cuatro provincias biogeográficas: Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Mesa del Centro y Eje Neovolcánico (INEGI, 2017), y es uno de los Estados que comparte fronteras políticas con más Entidades.



**Figura 3.** Ubicación del estado de Zacatecas, México.

### **Recopilación de registros de presencia**

Para determinar la distribución potencial de las víboras de cascabel presentes en Zacatecas, se recopilaron sus registros de presencia a nivel global. Para ello, se consultaron las bases de datos de (Global Biodiversity Information Facility; GBIF, 2017), (Vertebrate Networks; Vertnet, 2017) y la (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad; CONABIO, 2017), así como literatura especializada para acceder a los registros de *Crotalus aquilus* y *C. basiliscus* en Zacatecas (Ahumada-Carrillo et al. 2011; Carbajal-Márquez et al. 2015; Carbajal-Márquez et al. 2015b). Finalmente, se agregaron los registros de presencia reportados por (Ávila-Herrera, 2012); (Esparza-Estrada, 2014); (Lara-Galván, 2015) y Sigala-Rodríguez (pers, comm. 2015). El total de registros de presencia fue de 12,113, los cuales se redujeron: 3,181 (Cuadro 3), eliminándose aquellos registros repetidos, imprecisos o incompletos. También fue tomado en consideración que dichos registros tuvieran información complementaria como la localidad, biología de la especie y, estrictamente información referente al sitio donde se depositó el organismo; datos que fueron de

utilidad para precisar su ubicación. Del total de los registros de presencia utilizados en los modelos de distribución potencial 239 corresponden al estado de Zacatecas.

### **Delimitación de los polígonos para el modelado**

De acuerdo a (Elith et al. 2011), la determinación del área de estudio, es decir el paisaje de interés (L), debe ser una área geográfica sugerida por el problema y definida por el ecólogo, pudiendo estar limitada por fronteras geográficas o por el conocimiento de hasta donde las especies focales podrían haberse dispersado. Es por ello, que la recopilación de los registros de ocurrencia se hizo de manera global, logrando delimitar los polígonos donde se modeló la distribución de estas especies. Por lo cual, con base en la IUCN (2018) para las especies del género *Crotalus* reportadas para Zacatecas, se consideraron dos grupos de estudio: 1) especies endémicas de México y 2) especies no endémica de este país (Cuadro 1). Aunado a esto, autores como Merow et al. (2013), mencionan la importancia de obtener los registros de presencia de las especies a modelar, cubriendo los hábitats posibles donde podrían ocurrir dichas especies, es decir, el rango de distribución conocido de la especie. Con base a lo anterior, para el modelado se consideró un polígono por grupo de estudio. El primer polígono incluye la totalidad del territorio mexicano, usado para modelar la distribución de las especies endémicas de México (*Crotalus aquilus*, *C. basiliscus* y *C. polystictus*). Mientras que el segundo polígono incluyó el territorio mexicano y algunas entidades de los Estados Unidos de Norteamérica: Arizona, Arkansas, California, Colorado, Kansas, Luisiana, Nevada, Nuevo México, Oklahoma, Texas y Utah, para incluir aquellas especies en las que su rango de distribución también abarca el territorio de este país: *Crotalus atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus*, *C. pricei*, *C. scutulatus* y *C. willardi*.

### **Modelado de distribución de especies (MDE)**

Los modelos de distribución fueron realizados mediante el paquete *sdm: species distribution modelling* en su versión 1.0.46, implementado en el programa R, que ensambla y evalúa modelos construidos con 15 algoritmos: BIOCLIM, BIOCLIM.DISMO, BRT, CART, FDA, GAM, GLM,



GLMNET, MARS, MAXENT, MAXLIKE, MDF, RF, RPART y SVM; logrando generar la distribución potencial en espacio y tiempo de una especie o comunidad determinada (Naimi & Araújo, 2016). El paquete de *sdm* crea un modelado con una estructura estandarizada y unificada para el manejo de modelos de distribución realizados por diversas técnicas, unificando la interfaz utilizada en la adaptación de diferentes modelos de otros paquetes (Naimi & Araújo, 2016). Para cada especie se utilizaron todos los puntos de presencia disponibles y una cantidad de puntos de pseudoausencias, generados aleatoriamente en el área de estudio, a forma de que la proporción de presencias fuera del 30 % para todas las especies.

### **Selección de variables predictoras**

Se utilizaron variables ambientales habitualmente relacionadas con la presencia de las especies. En particular, se utilizaron las 19 variables bioclimáticas de la base de datos WorldClim en su versión 2.0 (Fick & Hijmans, 2017). Esta información se refiere a la temperatura mínima, media y máxima, así como a la precipitación de 1970 a 2000 y sus derivaciones. Estas variables cuentan con una resolución espacial de 30'', es decir, aproximadamente 1 km<sup>2</sup>. Para el polígono de México, además de las variables ambientales, se utilizó información de uso de suelo y vegetación serie V y de edafología (CONABIO, 2017), tipos de rocas, sistemas de topoformas y el continuo digital de elevación de la República Mexicana, información obtenida del (Instituto Nacional de Geografía y Estadística; INEGI, 2017), del cual se derivó la pendiente y la exposición. Para el polígono de especies no endémicas, que incluye estados de Estados Unidos de Norteamérica, además se incluyó la cobertura de suelo, influencia humana y continuo digital de elevación (Commission for Environmental Cooperation; CEC, 2017), derivando también la pendiente y la exposición. La información cartográfica se reproyectó al sistema de coordenadas geográficas mundial WGS\_1984, se recortó y extrajo la información propia para cada una de las variables predictoras. La cartografía se procesó utilizando herramientas de ArcGIS 10.5 (ESRI, 2017), QGIS 2.18.14 (QGIS, 2018) y de R 3.5.0 (RStudio, 2015).

Para la selección de las variables (Cuadro 4), se determinaron las más adecuadas para el modelo de distribución de cada especie, utilizando la función *multGLM* del paquete *fuzzySim* (Barbosa,

2015): el cual de entre cada par de variables correlacionadas por encima de  $|r| = 0.8$ , la función excluye aquella que tiene una relación menos significativa con la distribución de la especie; las variables remanentes se someten después a un proceso de selección por pasos, utilizando el criterio de información de Akaike (AIC); finalmente, se eliminan variables no significativas que puedan quedar en los modelos tras este proceso (Reino et al. 2017; Gutiérrez-Rodríguez et al. 2017). Las variables seleccionadas para cada especie se utilizaron después para construir modelos con los 15 algoritmos implementados en el paquete *sdm*, tras lo que se calculó la media y la varianza de las predicciones de cada uno. La media se utilizó para demostrar la distribución potencial de cada una de las nueve especies del género *Crotalus*, y la varianza para estimar el consenso entre las predicciones de distintos algoritmos (Naimi & Araújo, 2016). Posteriormente, con base a la media se generó el mapa de distribución potencial, recortando la información para la superficie de interés, es decir, el estado de Zacatecas.

### **Evaluación de los modelos**

Para evaluar los modelos, se utilizó el criterio del área bajo la curva (AUC), la cual se considera como un método estándar para evaluar la capacidad de discriminación (es decir, de distinguir las localidades con presencia de las sin presencia registrada) de los modelos de distribución predictiva, evitando la subjetividad en el proceso de selección de un umbral de clasificación. Cabe tener en cuenta que el valor de AUC depende de la proporción de presencias y del tamaño del área en la que se modela (Lobo et al. 2008), pero en este estudio se utilizó una prevalencia constante de 30 % para todas las especies.

### **Diversidad municipal**

Para determinar la diversidad de víboras de cascabel a nivel municipal, se utilizaron los registros de presencia disponibles, elaborando un listado de las especies presentes en cada municipio. Además, se incluyó en el mismo los resultados de los modelados de distribución potencial (Figuras 4 - 12), donde se identificaron las zonas donde se predicen mayor probabilidad de ocurrencia de

estos organismos; para lo cual se superpuso la capa de municipios a los mapas de distribución potencial.

### **Verificación en campo de los modelos**

Con base en el modelo de distribución potencial de cada una de las especies de víboras de cascabel en Zacatecas, generado con el paquete *sdm*; se seleccionaron dos localidades por municipio, o tres en el caso de Pinos, Loreto y Valparaíso, realizando trabajo de campo en un total de 48 localidades repartidas en 22 municipios del Estado. Estos últimos fueron seleccionados al azar, tratando de cubrir varias regiones de Zacatecas. Por otro lado, para la selección de las localidades, se tomó en cuenta la condición de que las mismas estuvieran incluidas en zonas de mayor probabilidad de presencia predicha por los modelos. Posteriormente, se superpuso una capa de las localidades de México para su selección gráfica (CONABIO, 2017). El trabajo de campo para la verificación de presencia de estas especies se realizó en las áreas colindantes a las localidades elegidas. Con la finalidad de recabar mayor información sobre estos organismos, se aplicaron entrevistas de forma aleatoria a cinco personas por localidad: dos dirigidas a personas que se creyó tienen un mayor contacto con estos organismos, es decir, individuos dedicados a la agricultura, ganadería y caza de roedores y tres entrevistas más al azar, tratando de cubrir distintos rangos de edad y sexo. Por último, se hizo búsqueda en campo, considerando las áreas con los hábitats más adecuados para su presencia con base a lo mencionado por Campbell & Lamar (2004), tomando como criterios principales el uso de la tierra y vegetación. En cada lugar se tomó en cuenta registros visuales, rastros secundarios como exuvias en buen estado, organismos atropellados y comunicaciones personales comprobables como fotografías y ejemplares cazados.

### **Resultados**

Las especies bajo estudio con mayor cantidad de registros para todo el rango de distribución fueron *Crotalus atrox* y *C. scutulatus*, con 999 y 1,011, respectivamente; En cuanto a su presencia en

Zacatecas *C. atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus* y *C. scutulatus* fueron las especies con mayor cantidad de registros. Por otro lado, *C. polystictus* solamente tuvo 34 registros y *C. willardi* 33 en todo el rango de distribución conocido y, esta última además de *C. basiliscus* y *C. pricei* fueron las que menor cantidad de registros de presencia se obtuvieron en Zacatecas (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Número de registros de presencia de especies del género *Crotalus* en Zacatecas utilizados para generar los modelos de distribución potencial.

<b>Grupo de estudio</b>	<b>Especie</b>	<b>Total de registros de ocurrencia</b>	<b>Registros correspondientes a Zacatecas</b>
Endémicas de México	<i>C. aquilus</i>	39	5
	<i>C. basiliscus</i>	115	3
	<i>C. polystictus</i>	34	9
No endémicas de México	<i>C. atrox</i>	999	38
	<i>C. lepidus</i>	375	52
	<i>C. molossus</i>	494	67
	<i>C. pricei</i>	81	2
	<i>C. scutulatus</i>	1,011	61
	<i>C. willardi</i>	33	2

En la generación de los modelos de distribución de especies, las variables medioambientales que mayor información aportaron fueron bio\_08 (temperatura promedio del cuatrimestre más húmedo), bio\_14 (precipitación del mes más seco), bio\_19 (precipitación del cuatrimestre más frío); la altitud, la cobertura y la pendiente. Variables como la influencia humana, que abarca, como su nombre lo indica, la influencia directa de los seres humanos en los ecosistemas de Norteamérica, basándose en la densidad poblacional, área edificada, carreteras, ferrocarriles, ríos navegables, uso del suelo y luces nocturnas, tuvieron relevancia en la presencia de *C. atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus* y *C. scutulatus*. El tipo de roca y la edafología fueron poco importantes en la obtención de los modelos. Por otro lado, variables como bio\_06 (temperatura mínima del mes más frío) o bio\_10 (temperatura promedio del cuatrimestre más cálido) no fueron incluidas en ningún modelo de distribución.

**Cuadro 4.** Variables seleccionadas por la función *multGLM* del paquete *fuzzySim*, utilizadas en el modelado de distribución por especie de víbora de cascabel presentes en Zacatecas, México.

Grupo de estudio	Especie	VARIABLES UTILIZADAS EN SDM
Endémicas	<i>C. aquilus</i>	bio_05, bio_14, bio_19, edafología y topoformas.
	<i>C. basiliscus</i>	bio_07, bio_14, bio_15, bio_19, topoformas y pendiente.
	<i>C. polystictus</i>	bio_04, altitud y pendiente.
No endémicas	<i>C. atrox</i>	bio_01, bio_02, bio_03, bio_05, bio_08, bio_09, bio_12, bio_14, bio_15, bio_19, altitud, influencia humana y cobertura.
	<i>C. lepidus</i>	bio_02, bio_03, bio_05, bio_08, bio_11, bio_14, bio_15, influencia humana, cobertura y pendiente.
	<i>C. molossus</i>	bio_02, bio_08, bio_11, bio_12, bio_14, bio_15, bio_18, bio_19, altitud, influencia humana y cobertura.
	<i>C. pricei</i>	bio_02, bio_08, bio_14, bio_19, influencia humana y altitud.
	<i>C. scutulatus</i>	bio_01, bio_05, bio_07, bio_09, bio_12, bio_14, bio_19, altitud, influencia humana, pendiente y cobertura.
	<i>C. willardi</i>	bio_18, bio_19 y altitud

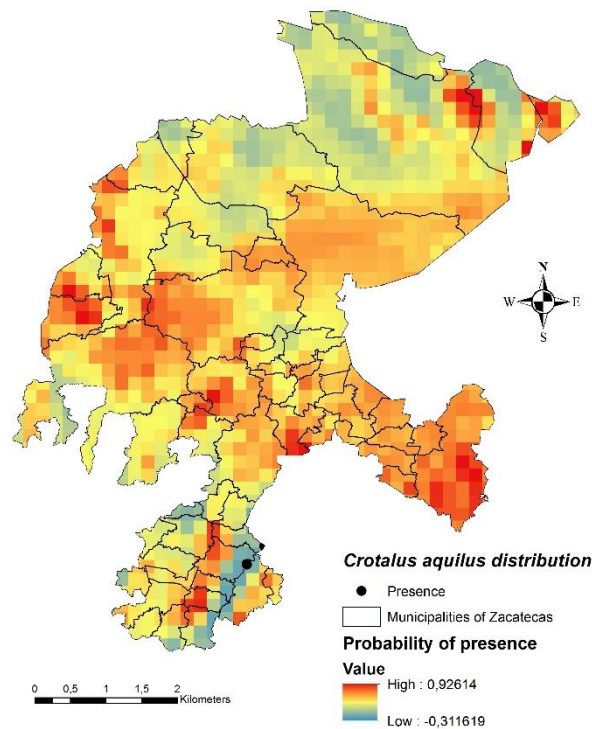
**Nota de abreviaturas:** (bio\_01) temperatura promedio anual, (bio\_02) rango promedio de temperatura diaria, (bio\_03) isotermalidad, (bio\_04) estacionalidad, (bio\_05) temperatura máxima del mes más cálido, (bio\_06) temperatura mínima del mes más frío, (bio\_07) rango anual de temperatura, (bio\_08) temperatura promedio del cuatrimestre más húmedo, (bio\_09) temperatura promedio del cuatrimestre más seco, (bio\_10) temperatura promedio del cuatrimestre más cálido, (bio\_11) temperatura promedio del cuatrimestre más frío, (bio\_12) precipitación total anual, (bio\_13) precipitación del mes más húmedo, (bio\_14) precipitación del mes más seco, (bio\_15) estacionalidad de la precipitación, (bio\_16) precipitación del cuatrimestre más húmedo, (bio\_17) precipitación del cuatrimestre más seco, (bio\_18) precipitación del cuatrimestre más cálido y (bio\_19) precipitación del cuatrimestre más frío.

## Modelos de distribución de especies

En las figuras 4 - 12, se muestran los mapas de distribución potencial de las especies bajo estudio en Zacatecas, donde los registros de ocurrencia obtenidos durante la recopilación de la información y que fueron utilizados para la construcción de los modelos, se indican en forma de puntos y la distribución potencial en una gama de colores que va del azul, pasando por el amarillo, hasta el rojo, siendo respectivamente los tonos de menor a mayor probabilidad de presencia predicha de cada especie.

En el primer mapa de distribución, correspondiente a *C. aquilus* (Figura 4), se muestra la presencia de esta especie en los municipios de Huanusco y Jalpa. Sin embargo, dichos registros se encuentran

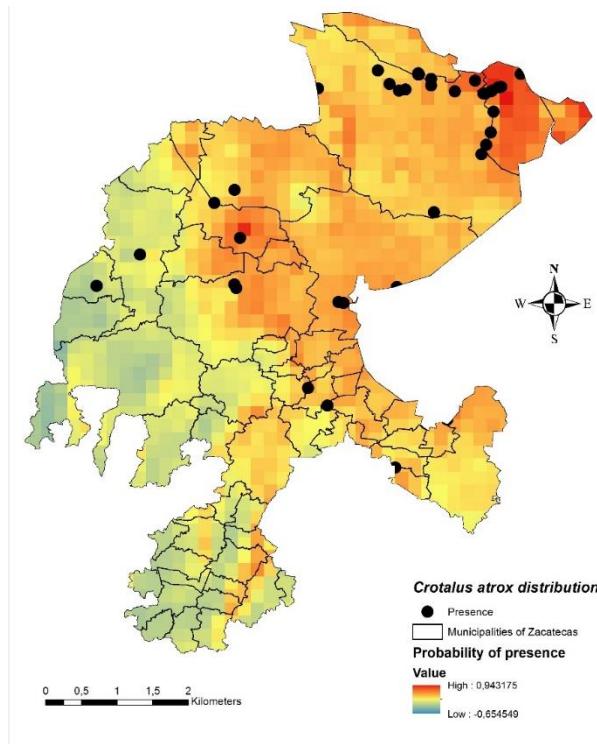
dentro de una zona predicha globalmente con baja o mediana probabilidad, pero dentro del mismo territorio municipal se encuentran áreas que, de acuerdo al MDE, cuentan con mejores condiciones para su presencia. Existen algunas áreas con elevado potencial de presencia predicha de *C. aquilus* en los municipios de Chalchihuites, Cuauhtémoc, Genaro Codina, Jalpa, Jerez, Jiménez del Téul, Juchipila, Mezquital del Oro, Nochistlán de Mejía, Sombrerete, Tabasco y Tlaltenango de Sánchez Román.



**Figura 4.** Presencia y distribución potencial de *Crotalus aquilus* en Zacatecas, México.

Por otro lado, *C. atrox* está presente en gran parte del territorio de Zacatecas (Figura 5), principalmente en la zona norte, correspondiente a los municipios de Concepción del Oro (donde se adiciona un registro recopilado en el trabajo previo al estudio), El Salvador y Mazapil. Esta especie cuenta también con registros en el centro-norte del Estado, en Fresnillo y Río Grande, municipios con potencial para su distribución. La víbora de cascabel diamantada, *C. atrox*, cuenta con una amplia distribución en Zacatecas; Durante el trabajo de campo se encontraron organismos de esta especie en el municipio de Mazapil. La zona este del Estado cuenta con baja y mediana

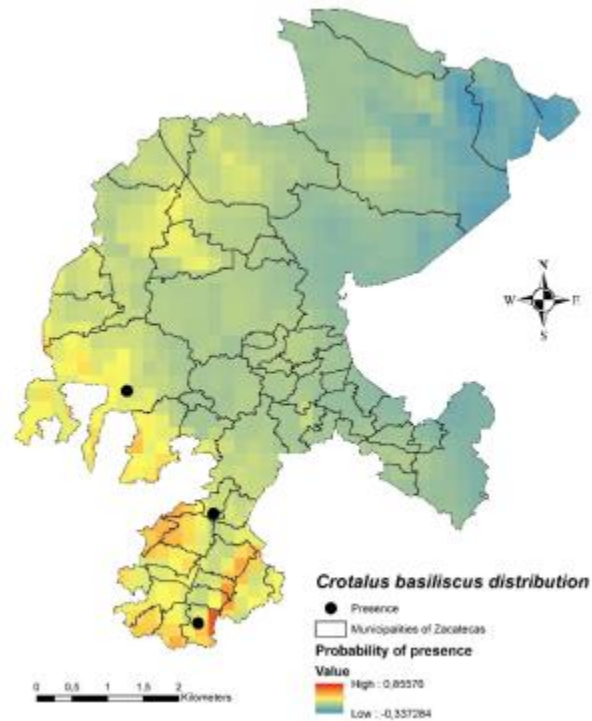
probabilidad de distribución de esta especie, aunque se cuenta con un punto de presencia en el municipio de Chalchihuites. La región suroeste de Zacatecas es la que se indica con menor probabilidad de distribución en todo el Estado.



**Figura 5.** Presencia y distribución potencial de *Crotalus atrox* en Zacatecas, México.

La distribución conocida de *C. basiliscus* en Zacatecas está restringida a la parte oeste y suroeste del Estado (Figura 6). Se cuenta con registros de presencia en los municipios de El Plateado de Joaquín Amaro, Moyahua de Estrada y Valparaíso. Sin embargo, el MDE marca como áreas de mediana probabilidad a los municipios de Apozol, Atolinga, Jalpa, Juchipila, Mezquital del Oro, Momax, Monte Escobedo, Nochistlán de Mejía, Tepechitlán, Tlaltenango de Sánchez Román y Trinidad García de la Cadena. Se adicionaron dos registros de presencia: un ejemplar vivo, recolectado y liberado proporcionado Bañuelos-Alamillo (pers. comm. 2018); y un registro de un ejemplar muerto por parte de una persona perteneciente a la localidad de San Rafael de las Tablas.

Ambos registros forman parte del municipio de Valparaíso y dichas zonas están incluidas en las áreas delimitadas con mayor potencial de distribución.

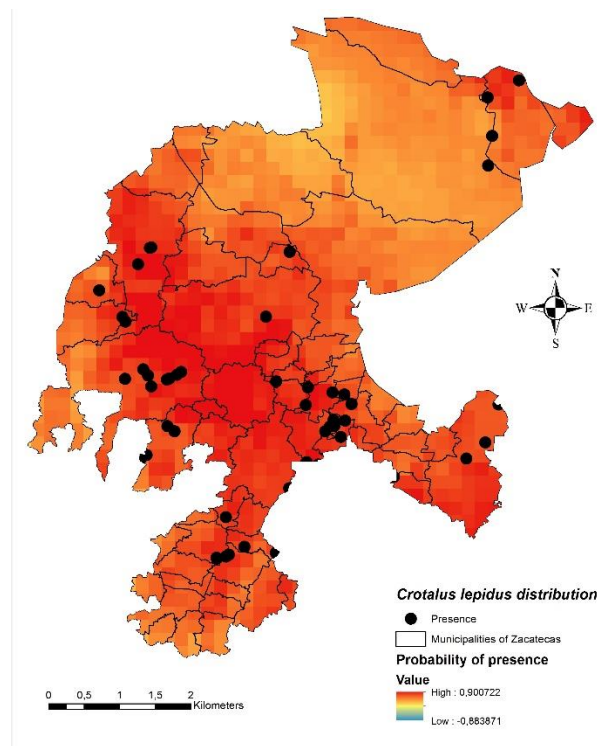


**Figura 6.** Presencia y distribución potencial de *Crotalus basiliscus* en Zacatecas, México.

Para el modelo global de distribución potencial de *C. lepidus* (Figura 7), se contó con un total de 375 registros de ocurrencia. De los cuales, 52 corresponden a la presencia de esta especie en Zacatecas, concentrándose principalmente en la zona centro del Estado, donde está inmersa la zona urbana del mismo, que está conformada por los municipios de Guadalupe y Zacatecas. Esta especie cuenta con registros de presencia en Cuauhtémoc, Genaro Codina y Valparaíso, principalmente. Es una de las especies con mayor número de avistamientos en la entidad y, de acuerdo su modelo de distribución global, su probable presencia se extiende a lo largo de Zacatecas, estando presente desde los municipios de Pinos, al centro del Estado, donde se contó con una considerable cantidad de registros, hasta los municipios de Genaro Codina, Vetagrande, Villanueva. Se dispuso también de algunos registros en la parte norte, correspondiente a los municipios de Concepción del Oro y



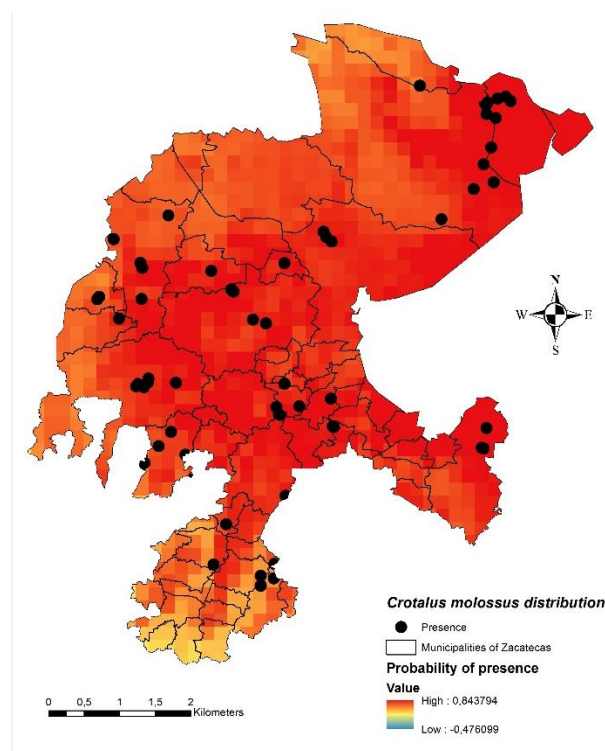
El Salvador, y en los municipios de Cañitas de Felipe Pescador, General Francisco R. Murguía, Juan Aldama, Mazapil, Melchor Ocampo y Miguel Auza, con baja probabilidad para su distribución. De acuerdo al MDE, el ambiente presentó las mejores condiciones para la presencia de esta especie en los municipios de Guadalupe, Jerez, Fresnillo, Monte Escobedo, Valparaíso, Vetagrande y Zacatecas, siendo los dos primeros y los dos últimos municipios donde se encontró a estas víboras durante el trabajo de campo, así como un avistamiento en el municipio de Ojocaliente.



**Figura 7.** Presencia y distribución potencial de *Crotalus lepidus* en Zacatecas, México.

La víbora de cascabel de cola negra (*C. molossus*) presentó una amplia distribución en Zacatecas (Figura 8). Esta especie se distribuye a lo largo y ancho del Estado, desde el municipio de Pinos en el sureste hasta Sombrerete en el oeste, contando con una importante cantidad de registros en el norte de Zacatecas en los municipios de Concepción del Oro y El Salvador. Guadalupe, Mazapil,

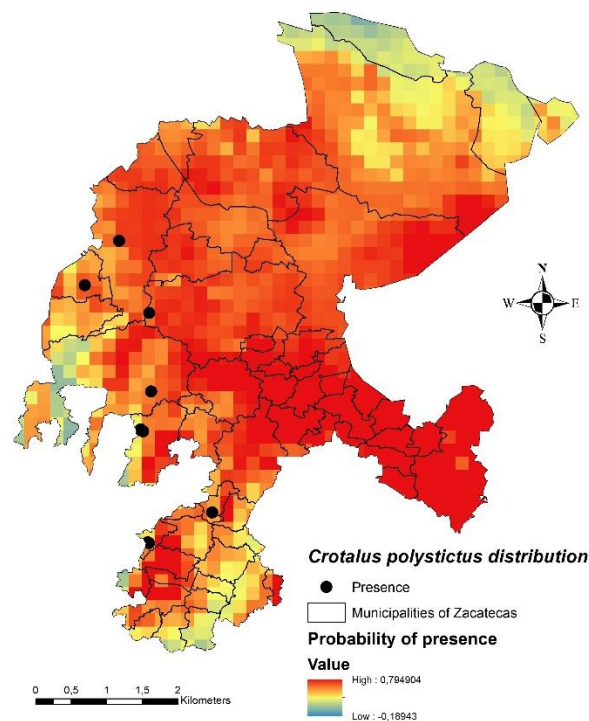
Villanueva, Villa de Cos y Zacatecas fueron los municipios donde se encontraron ejemplares de esta especie durante el trabajo de campo. Además, en el municipio de Pinos se contó con un registro de rastro secundario (exuvia) claramente identificable de esta especie. Al hablar con los pobladores de las distintas localidades de algunos municipios de Zacatecas, mencionaron a la víbora de cascabel colinegra como la más abundante y común de ver en parcelas, caminos de terracería, carreteras e inclusive esta especie y *C. atrox* fueron registradas para su venta como alimento en la capital del Estado. Por otro lado, Mezquital del Oro, Moyahua de Estrada y Trinidad García fueron algunos de los municipios que presentaron una mediana probabilidad de ocurrencia de *C. molossus*, aunque no se descarta la probabilidad de encontrarse en estas áreas.



**Figura 8.** Presencia y distribución potencial de *Crotalus molossus* en Zacatecas, México.

Los registros de distribución de *C. polystictus* (Figura 9) se concentraron en los municipios de Atolinga, Chalchihuites, El Plateado de Joaquín Amaro, Fresnillo, Monte Escobedo, Sombrerete

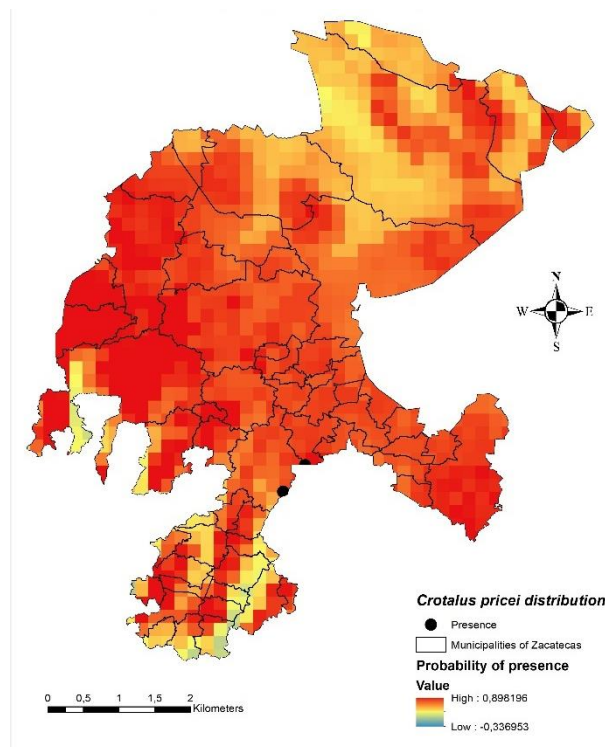
y Valparaíso. En el MDE se muestra como zona potencial para su distribución a la región suroriental del Estado, que comprende los municipios de General Pánfilo Natera, Loreto, Noria de Ángeles, Ojocaliente, Pinos, Villa García, Villa González Ortega y Villa Hidalgo. Sin embargo, no se cuenta con registros de ocurrencia en esta zona del Estado. Por otro lado, también se indicó como área potencial de distribución la zona suroeste del mismo, en los municipios de Tabasco, Tepechtlán Tlaltenango de Sánchez Román y Téul de González Ortega. Finalmente, se agregó un registro más para esta especie proporcionado por Bañuelos-Alamillo (2018) en el municipio de Valparaíso, el cual corresponde a una zona de alta probabilidad de ocurrencia de acuerdo al MDE de *C. polystictus*.



**Figura 9.** Presencia y distribución potencial de *Crotalus polystictus* en Zacatecas, México.

A diferencia de otras especies como *C. atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus* y *C. scutulatus* cuya distribución abarca gran parte del territorio Zacatecano, *C. pricei* cuenta con tan sólo dos registros de presencia en este estado, ubicados en los municipios de Genaro Codina y Villanueva. La distribución global de esta especie se extiende por gran parte del centro al norte de México. De

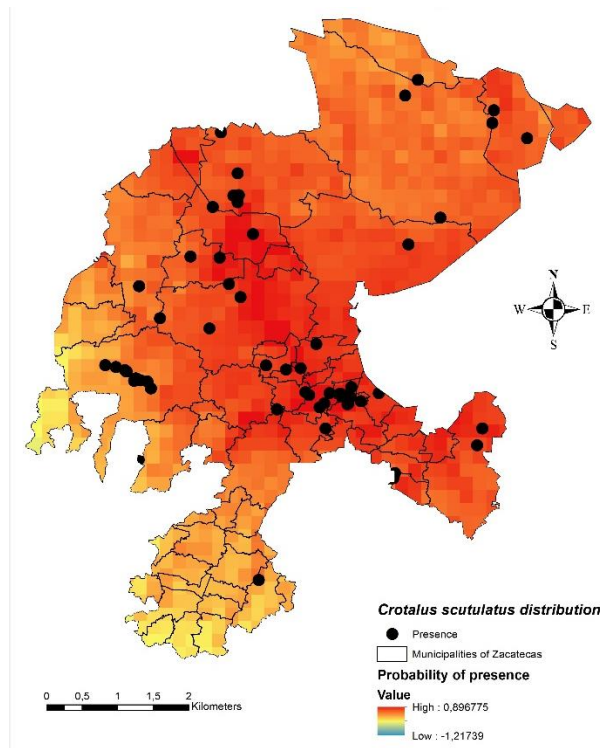
acuerdo al MDE (Figura 10), la región oeste de la entidad cuenta con las condiciones para su presencia, pero las variables para la formación del mismo son más restrictivas en cuanto a temperatura y rangos de altitud se refiere. Para esta especie no se contó con ningún avistamiento directo o secundario durante el trabajo de campo. Esta especie puede ser considerada rara en Zacatecas, por lo que se requiere aumentar intensamente el esfuerzo de campo y se recomienda muestrear las áreas con mayor potencial de distribución, con el fin de comprobar su presencia, aumentar la cantidad de registros y realizar un modelado basado en más datos de presencia para este organismo.



**Figura 10.** Presencia y distribución potencial de *Crotalus pricei* en Zacatecas, México.

Contrariamente a la especie anterior, *C. scutulatus* es la especie con la que mayor cantidad de registros se contó para el MDE (Figura 11). Los puntos de ocurrencia recopilados se ubican principalmente en los municipios de Guadalupe y Zacatecas, extendiendo su rango de distribución

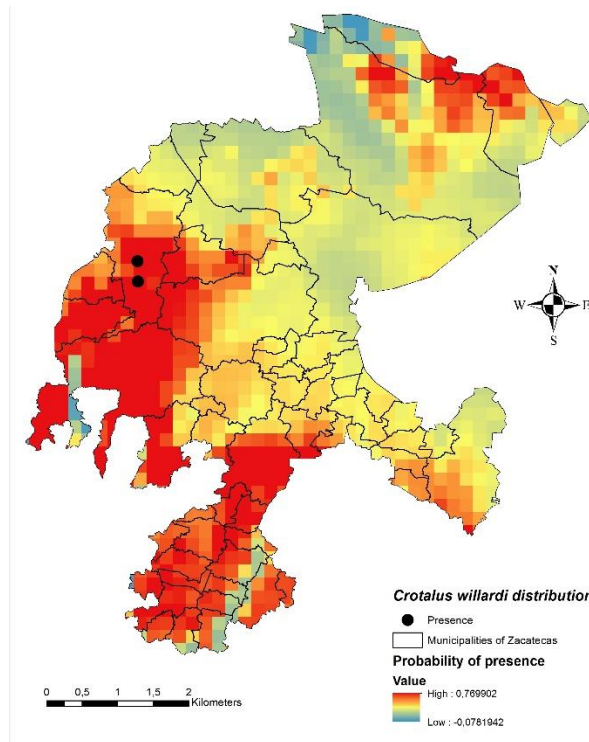
para el norte, en los municipios de General Francisco R. Murguía, Fresnillo, Río Grande y Sain Alto; y al sur del Estado, pasando por los municipios de Ojocaliente hasta llegar a Pinos. En Valparaíso se concentra una cantidad importante de registros para esta especie, y también puede ser encontrada en el otro extremo de Zacatecas, es decir, en el municipio de Concepción del Oro. Durante la verificación en campo, esta especie fue encontrada en el municipio de Pánfilo Natera, en un área donde predominan las mesetas y suelos desnudos. *C. scutulatus* prácticamente está presente en todo el Estado, y aunque cuenta con las condiciones necesarias para la presencia de esta especie, se muestra a las zonas sur y suroeste con mediana probabilidad de potencial.



**Figura 11.** Presencia y distribución potencial de *Crotalus scutulatus* en Zacatecas, México.

Finalmente, se muestran (Figura 12) los puntos de ocurrencia y la distribución potencial de *C. willardi* en Zacatecas. Para la construcción del MDE de esta especie, solamente se contó con 33 datos georreferenciados para todo su rango de distribución (México-Estados Unidos), de los cuales en Zacatecas sólo se cuenta con un par de registros en el municipio de Sombrerete, siendo junto con *C. pricei* las especies con menor presencia registrada en el Estado. El MDE muestra con alto

potencial de distribución principalmente a zonas de los municipios de Sombrerete y Valparaíso, además de zonas de la región suroeste de Zacatecas y de algunos manchones ubicados en la zona de Concepción del Oro y Mazapil.



**Figura 12.** Presencia y distribución potencial de *Crotalus willardi* en Zacatecas, México.

### Diversidad a nivel municipal

El 63.79 % de los municipios, es decir, 37 de 58 (Cuadro 5) tienen al menos un registro de víbora de cascabel. Durante la verificación de las zonas potenciales de distribución de estos organismos en Zacatecas, se adicionaron nuevos registros de ocurrencia en 13 municipios, siendo General Pánfilo, Jerez y Vetagrande algunas de las municipalidades con nueva información.

De acuerdo a la recopilación total de registros, el municipio con mayor diversidad de víboras de cascabel es Sombrerete, con la presencia de seis especies. Le siguen los municipios de Fresnillo y Valparaíso, con la ocurrencia registrada de cinco especies, y Chalchihuites, Concepción del Oro,

El Plateado de Joaquín Amaro, Genaro Codina, Guadalupe, Mazapil y Monte Escobedo, con reporte de cuatro especies en cada uno. En el municipio de Zacatecas, lugar donde se ubica la capital del Estado, se reportó la presencia de tres especies de este género.

No hay reporte de ocurrencia de víboras de cascabel para 21 municipios de la Entidad. Sin embargo, de acuerdo a los MDE, todos los municipios cuentan con las condiciones mínimas para la presencia de alguno de estos organismos.

**Cuadro 5.** Diversidad de víboras de cascabel por municipio en Zacatecas, México, con base a los registros existentes.

<b>Municipio</b>	<i>Ca</i>	<i>Cax</i>	<i>Cb</i>	<i>Cl</i>	<i>Cm</i>	<i>Cp</i>	<i>Cpr</i>	<i>Cs</i>	<i>Cw</i>	<b>Total</b>
Apozol										-
Apulco										-
Atolinga						x				1
Benito Juárez										-
Calera de Víctor Rosales								x		1
Cañitas de Felipe Pescador				x	x					2
Concepción del Oro		x		x	x			x		4
Cuauhtémoc				x						1
Chalchihuites		x		x	x	x				4
El Plateado de Joaquín Amaro			x	x	x	x				4
El Salvador										-
Fresnillo		x		x	x	x		x		5
Genaro Codina				x	x		x	x		4
General Enrique Estrada										-
General Francisco R. Murguía		x						x		2
General Pánfilo Natera								x		1
Guadalupe		x		x	x			x		4
Huanusco	x			x	x					3
Jalpa				x	x					2
Jerez				x						1
Jiménez del Téul				x	x					2
Juan Aldama										-
Juchipila										-
Loreto		x								1
Luis Moya				x						1
Mazapil		x		x	x			x		4
Melchor Ocampo		x			x			x		3
Mezquital del Oro										-
Miguel Auza										-
Momax										-
Monte Escobedo				x	x	x		x		4
Morelos					x			x		2
Moyahua de Estrada			x							1

Municipio	Ca	Cax	Cb	Cl	Cm	Cp	Cpr	Cs	Cw	Total
Noria de Ángeles										-
Ojocaliente		x		x				x		3
Pánuco								x		1
Pinos				x	x			x		3
Río Grande		x						x		2
Santa María de la Paz										-
Sain Alto					x			x		2
Sombrerete		x		x	x	x		x	x	6
Susticacán										-
Tabasco										-
Tepechitlán										-
Tepetongo										-
Teúl de González Ortega										-
Tlaltenago de Sánchez Román				x	x					2
Trancoso				x				x		2
Trinidad García de la Cadena										-
Valparaíso			x	x	x	x		x		5
Vetagrande				x						1
Villa de Cos		x			x			x		3
Villa García										-
Villa González Ortega										-
Villa Hidalgo										-
Villanueva					x		x	x		3
Zacatecas				x	x			x		3
Total de municipios con presencia por especie:	2	12	3	23	23	7	2	23	1	37

**Nota de abreviaturas:** (Ca) *Crotalus aquilus*, (Cax) *C. atrox*, (Cb) *C. basiliscus*, (Cl) *C. lepidus*, (Cm) *C. molossus*, (Cp) *C. polystictus*, (Cpr) *C. pricei*, (Cs) *C. scutulatus*, (Cw) *C. willardi*.

## Discusión

El área de construcción de los modelos abarcó todo el rango de distribución conocido de estas especies, de forma que se cubran todos los posibles hábitats donde ésta podría ocurrir (Merow et al. 2013). Sin embargo, la discusión de los resultados se centra en el área de interés, i.e. el estado de Zacatecas, en concordancia con Elith et al. (2011), los cuales hacen mención sobre el área de estudio como aquella de problema o interés para el ecólogo. Esto en consideración también a una mayor obtención de registros de ocurrencia para aquellas especies como *C. aquilus*, *C. basiliscus*, *C. pricei* y *C. willardi*.

Para la especie *C. aquilus* se contó con registros de presencia en Huanusco y Nochistlán de Mejía. Por otro lado, el MDE muestra a los municipios de El Salvador y Mazapil como potenciales para



su desarrollo, pero estos se encuentran alejados del área de distribución conocida a lo largo de México. El municipio de Pinos también se indica como zona potencial de ocurrencia y de acuerdo a (Campbell & Lamar, 2004), este se encuentra próximo al área de distribución que ellos plantean, por lo que no se descarta la posibilidad de su presencia en dicha área.

Durante la búsqueda de registros en campo y en las entrevistas con personas de las comunidades, se presentó a *C. basiliscus* como una especie común de avistamiento en la región. Para el seguimiento de la búsqueda de esta especie se consideró que la información proporcionada fuera certera, es decir, mediante la observación de los ejemplares muertos y en buen estado para su determinación, ya que esta especie es fácilmente confundida con *C. molossus* o *C. scutulatus*. Esta especie tiene preferencias por zonas con altitudes que rondan los 1,000 msnm, sitios donde fueron tomados datos de georreferenciación; esto es correspondiente con lo mencionado por Campbell & Lamar (2004), prefiriendo zonas ecotonales entre el bosque tropical caducifolio y el de pino encino. Además, una de las variables involucradas en la construcción del modelo de distribución de esta especie es la pendiente.

La influencia humana fue una de las variables de mayor uso en la construcción de los modelos de distribución potencial de *C. atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus* y *C. scutulatus*, lo cual es coincidente con los datos arrojados, ya que estas especies parecen no tener problema alguno en la ocupación de hábitats cercanos a zonas urbanas y rurales, sin embargo, estos no son los predilectos para su desarrollo. Aunado a esto, se obtuvieron datos de ocurrencia de *C. atrox* y *C. molossus* dentro de áreas pobladas. Inclusive se cuenta con varios avistamientos de *C. lepidus* y *C. molossus* en los cerros Los Alamitos y de La Virgen, ubicados en la colindancia con la zona urbana y poblada más grande la Entidad. Los avistamientos de *C. lepidus* en las zonas antes mencionadas fueron en pendientes inclinadas y en suelos predominantemente rocosos; la primera variable (pendiente) fue una de las que se tomó en consideración para la construcción del MDE. La presencia humana no es impedimento para el avistamiento de especies como *C. atrox* y *C. scutulatus* o, al menos para el tránsito cerca de las áreas urbanas, con ruido, edificación de casas y vías de transporte. De hecho, varios de los registros documentados para *C. atrox* son referidos a carreteras y caminos secundarios. Además Tay-Zavala et al. (2002) mencionan a *C. atrox* y *C. scutulatus* como dos de las especies con mayor importancia médica en México, debido a la cantidad de accidentes ofídicos que ocasionan. Dichas especies fueron también las que presentaron el mayor número de registros

de ocurrencia y su distribución se extiende ampliamente en los Estados Unidos y México, incluyendo al estado de Zacatecas.

Los registros de *C. pricei* para el Estado son muy escasos. Autores como Sigala-Rodríguez (2008) mencionan a este organismo como una especie rara o en peligro de extinción, ya que, para esta zona de su distribución, no se cuenta con registros recientes. Sin embargo, Bañuelos-Alamillo (pers. comm. 2018) adiciona un registro más en el año 2017. En el MDE se indican regiones muy específicas del noreste del estado, en los municipios de Concepción del Oro y El Salvador, con potencial de distribución. Esto puede deberse a que estos municipios cuentan con serranías con altitudes que rondan los > 2,900 msnm (INEGI, 2017), siendo que la altitud fue una de las variables utilizada en la construcción de dicho modelo. Además, autores como Campbell & Lamar (2004) mencionan de igual forma la preferencia de ciertos rangos altitudinales elevados para su desarrollo. Sin embargo, Campbell & Lamar (2004) no hacen mención de la distribución de esta especie en Zacatecas. Otra de las razones por las cuales se muestra a estas áreas como potenciales para su distribución, pueden ser los registros de ocurrencia de *C. pricei miquihuanus*, que se concentran en gran parte del noreste de México, al ser considerados los registros a nivel especie para la construcción de los modelos.

*C. scutulatus* se distribuye ampliamente en el Estado. Sin embargo, hay zonas en el suroeste de Zacatecas que, de acuerdo al MDE tienen mediano potencial para su desarrollo, esto puede deberse al tipo de vegetación que prefieren estos organismos y, como consecuencia al tipo de clima, ya que estas regiones suelen ser más húmedas, estando inmersas en los cañones de Juchipila y Tlaltenango; dando una orografía muy distinta a la zona norte de Zacatecas que, de acuerdo Campbell & Lamar (2004) son hábitats más propicios para el establecimiento de esta especie. En el caso del ejemplar encontrado en el municipio de General Pánfilo Natera, el área muestreada presentaba un suelo rocoso, erosionado y donde predominaban los cultivos y *Opuntia* spp. Además, la temperatura reportada para ese día fue de 32° C y el clima era notoriamente seco.

Para *C. willardi* no se contó con ningún avistamiento durante el trabajo de campo. Sin embargo, el total de las personas que fueron entrevistadas para obtener mayor información de localización y con ayuda del catálogo fotográfico, hacen mención de haberla visto en regiones montañosas del municipio de Valparaíso. Es importante mencionar que las características físicas de esta especie, como el color y forma de la cabeza, cascabel y escamas, es lo que permitió que los pobladores

diferenciaran de manera inmediata del resto de las especies reportadas en el Estado. Aunque el muestreo de campo no proporcionó registros adicionales de presencia de esta especie, se compilaron datos como la temperatura y la altitud que rondan los 16° C y los 1,900 msnm respectivamente, estando este último dentro del rango altitudinal mencionado por Campbell & Lamar (2004).

Para 21 municipios de Zacatecas no se cuenta con registros de la ocurrencia de alguna especie de víbora de cascabel (Cuadro 5). Es importante clarificar que esto no significa que no puedan ser encontrados registros para estas zonas, ya que acuerdo a los resultados arrojados por modelos de distribución de estas especies, todos los municipios de la Entidad cuentan con las condiciones adecuadas para la presencia de al menos una especie de cascabel. Zacatecas es uno de los estados del centro-norte del país con mayor extensión territorial, por lo que se requiere aplicar un mayor esfuerzo de muestreo para reportar nuevos registros en el mismo.

## Conclusiones

- Con base a los registros obtenidos y al trabajo de campo realizado, se confirmó la la distribución de seis especies de víboras de cascabel del género *Crotalus* en el estado de Zacatecas: *C. atrox*, *C. basisliscus*, *C. lepidus*, *C. molossus*, *C. polystictus* y *C. scutulatus*. Para las especies restantes: *C. aquilus*, *C. pricei* y *C. willardi* se cuenta con información indirecta sobre su presencia, como comunicaciones personales, avistamientos no verificados, descripción detallada de los organismos coincidente con las características físicas y requerimientos ecológicos de las especies, sin embargo, es necesario comprobar su presencia en estas zonas.
- Las especies con mayor número de avistamientos en el Estado son *C. atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus* y *C. scutulatus*.
- Por el contrario de *C. pricei* y *C. willardi* poco se sabe de su presencia en Zacatecas.
- Con base a los registros de ocurrencia obtenidos, el municipio de Sombrerete fue el que mayor diversidad presentó, con seis especies distintas; seguido de Fresnillo y Valparaíso con cinco especies.

- El 64 % de los municipios de Zacatecas presentan reporte de al menos un registro de ocurrencia de víbora de cascabel.
- Se requiere mayor esfuerzo de muestreo para especies con pocos registros en Zacatecas, como *C. aquilus*, *C. basiliscus*, *C. polystictus*, *C. pricei* y *C. willardi*.
- Los resultados obtenidos con los modelos de distribución de estas especies se adecuan, en general, a la verificación en campo, logrando priorizar de una manera más eficiente el trabajo de búsqueda de localidades de presencia.
- Durante la verificación en campo se tuvieron múltiples avistamientos nocturnos de víboras de cascabel vivas o arrolladas por vehículos en varias carreteras de Zacatecas; siendo una de las causas de mortalidad más importantes de estas especies en el Estado. Este dato fue recabado únicamente para *Crotalus molossus* y *C. atrox*, especies que fueron encontradas en estas zonas.
- Este trabajo representa un acercamiento al conocimiento de las víboras de cascabel en Zacatecas. Se muestran sus registros de ocurrencia y se infieren las zonas de mayor diversidad en el Estado. Además, se muestran las zonas potenciales para la distribución de las mismas. Este material servirá para la aplicación en la creación de estrategias para temas de salud pública y para proponer planes de manejo y conservación de estas especies.

## **Recomendaciones**

- Se incita a aprovechar este trabajo a las personas que desean realizar futuros proyectos relacionados con la conservación de las víboras de cascabel en Zacatecas. Así como la publicación y contribución de nuevos registros de ocurrencia que ayuden a obtener mayor información sobre estos organismos en el Estado.
- Se recomienda aplicar un mayor esfuerzo de trabajo de campo en las zonas donde no se cuenta con registros de ocurrencia de estas especies, así como para las especies que menor cantidad de registros presentaron, particularmente en las áreas previstas con mayor probabilidad de presencia; y actualizar los modelos una vez se hayan colectado más registros de ocurrencia.

- Finalmente, se propone realizar trabajo de campo en los meses de julio a octubre, esto con la intención de aumentar las posibilidades de avistamiento.

## **Agradecimientos**

A.M.B. es financiada por la Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Portugal (contrato IF/00266/2013 con proyecto exploratorio CP1168/CT0001).

JJSR fue financiado por PRODEP-SEP y por recursos institucionales primero en la Universidad Autónoma de Zacatecas y actualmente en la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

J.L.L.G. agradece al Consejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación por la beca otorgada para la realización del Postgrado en Innovación en Manejo de Recursos Naturales del cuál deriva dicha investigación. De igual forma gratifica al Dr. Jesús Sigala-Rodríguez por facilitar los permisos de recolecta científica para la realización del trabajo de campo, con los números de oficio SGPA/DGVS/ 06292/06, SGPA/DGVS/ 09453/14, SGPA/DGVS/ 05874/17, y la licencia de colector científico FAUT-0110 del oficio SGPA/DGVS/ 04324. De igual manera se agradece al Dr. David Lazcano-Villarreal por facilitar el permiso de recolecta científica para la realización del trabajo de campo, con el número SGPA/DGVS/ 011906/17 respectivamente. Además, reconoce el apoyo al biólogo Jorge Bañuelos-Alamillo por el aporte de registros de ocurrencia de varias especies de víboras de cascabel para el estudio y a Chris Grundwald y Eric Centenero-Alcalá por el préstamo desinteresado de material fotográfico para apoyo del proyecto.

Finalmente, los autores agradecen a Delia Hernández-Juárez, Emmeth Rodríguez-Pérez, Guillermo de la Torre, Mónica Díaz-Teniente, Jorge Bañuelos-Alamillo, Paulo Haro-Galván, Rodolfo Zacarías, Violeta Bañuelos y las personas de las distintas localidades visitadas por su colaboración en el trabajo de campo para la verificación de los MDE.

## Bibliografía

- Ahumada-Carrillo, I. T., Vázquez-Huizar, O., Vázquez-Díaz J. & García, U. (2011). Noteworthy records of amphibians and reptiles from Mexico. *Herpetological Review*, 42(2), 397–398.
- Araújo, M. & Peterson, A. (2012). *Uses and misuses of bioclimatic envelope models*. *Ecology* (Vol. 93). <https://doi.org/10.2307/23225219>
- Arnaud, G., Trujillo, L. B., Hernández, I., Avila, H., Murillo, R. & Quijada, A. (2008). Natural history of the rattlesnake *Crotalus catalinensis*, endemic of Santa Catalina Island, Gulf of California, Mexico. *Estudios de Las Islas Del Golfo de California*, 2001, 93–100.
- Ávila-Herrera, L. (2012). *Serpientes Venenosas del estado de Zacatecas, México*". Universidad Autónoma de Zacatecas. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Bañuelos-Alamillo, J. A. (2018). pers. comm. *Registros de ocurrencia de especies del género Crotalus en Zacatecas*.
- Barbosa, A. M. (2015). fuzzySim : applying fuzzy logic to binary similarity indices in ecology, 853–858. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12372>
- Campbell, J. & Lamar, W. (2004). *The Venomous Reptiles of the Western Hemisphere*. Comstock, Cornell University Press. <https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2004.12.001>
- Carbajal-Márquez, R. A., Bañuelos-Alamillo, J. A., Rivas-Mercado, E. A., Quintero-Díaz, G. E. & Dominguez de la Riva, M. A. (2015). CROTALUS BASILISCUS ( Mexican West Coast Rattlesnake ). Geographic distribution : Zacatecas. *Herpetological Review*, 46(3), 385.
- Carbajal-Márquez, R. A., González-Saucedo, Z. Y. & Arenas-Monroy, J. C. (2015). *Crotalus Aquilus* Klauber , 1952 ( Squamata : Viperidae ), a New State Record for Zacatecas , Mexico. *Acta Zoológica Mexicana*, 31(1), 131–133.
- CEC. (2017). Commission for Environmental Cooperation. Retrieved from [www.cec.org](http://www.cec.org)
- Climate Data. (2018). Retrieved from <https://en.climate-data.org/>
- CONABIO. (2017). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Retrieved from [http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib\\_esp.html](http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html)

- Elith, J., Graham C. H., Anderson R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Maritz, G., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McOverton, J., Peterson, A., Phillips S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. S. & Zimmermann, N.E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129–151.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Esparza-Estrada, C. E. (2014). *Distribución de las serpientes de cascabel en México mediante el uso de modelado de nicho ecológico*.
- ESRI. (2011). ArcGIS Desktop: Release 10.5. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Fick, S. E. & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Flores-Villela, O. & García-Vázquez, U. O. (2014). Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), 467–475. <https://doi.org/10.7550/rmb.43236>
- GBIF. (2017). Global Biodiversity Information Facility. Retrieved from [www.gbif.org](http://www.gbif.org)
- Guisan, A. & Theurillat, J. P. (2000). Equilibrium modeling of alpine plant distribution: how far can we go? *Phytocoenologia*, 30(3–4), 353–384. <https://doi.org/10.1127/phyto/30/2000/353>
- Gutiérrez-Rodríguez J., Barbosa A. M. & Martínez-Solano, Í. (2017). Integrative inference of population history in the Ibero-Maghrebian endemic *Pleurodeles waltl* (Salamandridae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 112, 122–137.
- INEGI. (2017). Instituto Nacional de Geografía y Estadística. Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/>.

- IUCN. (2018). International Union for Conservation of Nature. Red list of threatened species. Retrieved from <http://www.iucnredlist.org>.
- Lara Galván, J. L. (2015). *Serpientes venenosas de Aguascalientes y Zacatecas: Patrones de distribución y riqueza de especies*. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Lemos-espinal, J. A., Smith, G. R. & Woolrich-Piña, G. A. (2018). Amphibians and reptiles of the state of San Luis Potosí , Mexico , with comparisons with adjoining states, *106*, 83–106. <https://doi.org/10.3897/zookeys.753.21094>
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A. & Real, R. (2008). AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, *17*(2), 145–151. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>
- Merow, C., Smith, M. J. & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, *36*(10), 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Naimi, B. & Araújo, M. (2016). Sdm: A reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, *39*(4), 368–375. <https://doi.org/10.1111/ecog.01881>
- Paredes-García, M. D., Ramírez-Bautista, A. & Martínez-Morales, M. A. (2011). Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México Distribution and representation of *Crotalus* species within the natural protected areas of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *82*, 689–700.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, *190*, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- QGIS Development Team, 2009. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. URL <http://qgis.osgeo.org>.
- Reino, L., Ferreira, M., Martínez-Solano, Í., Segurado, P., Xu, C. & Barbosa, A. M. (2017). Favourable areas for co-occurrence of parapatric species: niche conservatism and niche divergence in Iberian tree frogs and midwife toads. *Journal of Biogeography*, *44*, 88–98.



- RStudio. (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. Retrieved from <http://www.rstudio.com>.
- Secor, S. M. (2016). Ecological Significance of Movements and Activity Range for the Sidewinder, *Crotalus cerastes* Author ( s ): Stephen M . Secor Published by : American Society of Ichthyologists and Herpetologists ( ASIH ) Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/1447179> A, 1994(3), 631–645.
- SEMARNAT (2018). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM- 059-SEMARNAT.
- Sigala-Rodríguez, J. J. (2008). La serpiente de cascabel *Crotalus pricei* ( Serpentes : Viperidae ) en Aguascalientes : ¿ Especie rara o en peligro de extinción ?.
- Sigala-Rodríguez, J. J. (2015). pers. comm. *Registros de presencia de especies del género Crotalus en Zacatecas*.
- Tay-Zavala, J., Díaz-Sánchez, J. G., Sánchez-Vega J. T., Ruiz-Sánchez, D. & Castillo, L. (2002). Serpientes y reptiles de importancia médica en México. *Rev Fac Med UNAM*, 45(No. 5 Septiembre-Octubre), 212–219.
- Uetz, P. (editor). (2018). The Reptile Database. Retrieved from <http://www.reptile-database.org>
- Vertnet. (2017). Vertebral Networks. Database. Retrieved from [www.vertnet.org](http://www.vertnet.org)

**CAPÍTULO II. USOS TRADICIONALES, CONOCIMIENTO LOCAL Y MITOS SOBRE  
LAS VÍBORAS DE CASCABEL (*Crotalus* spp.) EN ALGUNAS LOCALIDADES DE  
ZACATECAS, MÉXICO**

# USOS TRADICIONALES, CONOCIMIENTO LOCAL Y MITOS SOBRE LAS VÍBORAS DE CASCABEL (*Crotalus* spp.) EN ALGUNAS LOCALIDADES DE ZACATECAS, MÉXICO

Jesús Lenin Lara-Galván<sup>1a</sup>, Juan Felipe Martínez-Montoya<sup>1b</sup>, A. Márcia Barbosa<sup>2\*</sup>, José Jesús Sigala-Rodríguez<sup>3</sup>, Citlalli Edith Esparza-Estrada<sup>3,4</sup>, y Octavio César Rosas-Rosas<sup>1c</sup>

<sup>1</sup> Posgrado en Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Campus San Luis Potosí, Colegio de Postgraduados. Iturbide No. 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, CP. 78600, México. <sup>1a</sup> [phrynosomatidae17@gmail.com](mailto:phrynosomatidae17@gmail.com), <sup>1b</sup> [fmontoya@colpos.mx](mailto:fmontoya@colpos.mx), <sup>1c</sup> [octaviocr@colpos.mx](mailto:octaviocr@colpos.mx)

<sup>2</sup> CIBIO/InBIO, Universidade de Évora. 7004-516. Évora. Portugal. CIGGE - Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais, Universidade do Porto, Portugal [barbosa@uevora.pt](mailto:barbosa@uevora.pt)

<sup>3</sup> Colección Zoológica. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. C.P. 20131, México. [jjsigala@gmail.com](mailto:jjsigala@gmail.com)

<sup>4</sup> Instituto de Ecología, A.C., Red de Biología Evolutiva, Laboratorio de Macroecología Evolutiva. Carretera Antigua a Coatepec 351, El Haya, Xalapa, 91070, Veracruz, México. [calli.edithsita@gmail.com](mailto:calli.edithsita@gmail.com)

## Resumen

En México, desde tiempos ancestrales las víboras de cascabel han ido acumulando una extensa colección de mitos, atribuciones místico-religiosas e inclusive creencias de poderes curativos, y debido a este conjunto de facultades otorgadas han sido consideradas como deidades. Jugando un papel muy importante en el lenguaje de los símbolos, convirtiéndose este en el lenguaje de la naturaleza, y estando reflejado en la cultura y tradiciones mexicanas. Representando a estos organismos en una gran cantidad de objetos: ejemplo de ello puede ser el escudo nacional, o las edificaciones prehispánicas y un sin fin de obras contemporáneas. Sin embargo, a través del tiempo esto ha ido cambiando, ya que estas especies sufren una fuerte presión en la viabilidad de sus poblaciones a causa de múltiples factores como la fragmentación de sus hábitats, comercio ilegal y la matanza indiscriminada que sufren debido a una serie de creencias entorno a su alrededor, siendo la mayoría de estas erróneas. A pesar de estas implicaciones, en Zacatecas poco es lo que se conoce de las víboras de cascabel y más en su ámbito etnobiológico, por ello, en este estudio se optó por la aplicación de un total de 240 entrevistas en 48 localidades del Estado, con el objetivo de obtener información sobre el conocimiento local que se tiene de estos reptiles. Recopilando los usos tradicionales más importantes en la medicina, cocina y economía regional, incluyendo información sobre la ecología básica de estos organismos, así como datos de su comportamiento.

Finalmente, se cuenta con una recopilación de las principales creencias, percepciones y relatos en torno a estas especies en Zacatecas, logrando un acercamiento real a su estado de conservación.

**Palabras clave:**

Etnobiología, usos tradicionales, víboras de cascabel, Zacatecas.

**Abstract**

In Mexico, since ancient times, rattlesnakes have gathered an extensive collection of myths, mystical and religious attributions and even healing power beliefs. Due to all this, they have been considered deities. They play a very important role in the symbol language that becomes the language of nature, thus being reflected in the Mexican culture and traditions, as can be observed in the numerous representations of these organisms in a great number of objects: the national coat of arms, pre-Hispanic buildings and an infinite number of contemporary pieces of art. However, over time this has severely changed, because these species suffer from strong pressure in the viability of their populations on account of multiple factors such as habitat fragmentation, illegal trade and indiscriminate slaughter which they undergo as a result of a series of beliefs surrounding them, in spite of most of them being false. Aside from these implications, in Zacatecas rattlesnakes remain fairly unknown, especially when it comes to their ethnobiology. This is the reason why this study opted for the application of a total of 240 interviews in 48 municipalities of the state, with the purpose of obtaining information about the local knowledge with respect to these reptiles. Their most relevant traditional uses have likewise been collected, including information about basic ecology of these organisms, as well as data about their behaviour. Finally, a compilation of the principal beliefs, perceptions and tales regarding these species in Zacatecas has been done, thereby successfully approaching their actual conservation status.

**Key words:**

Ethnobiology, traditional uses, rattlesnakes, Zacatecas.

## Introducción

El conocimiento que se tiene acerca de los reptiles en Zacatecas es mínimo, poco se sabe de las especies que en éste ocurren. Para esta entidad, se hace mención de solamente 64 especies de las cuales dos son tortugas, 29 lagartijas y 33 serpientes, lo que representa una menor diversidad en comparación con los estados de Oaxaca y Veracruz donde se reportan 262 y 200 especies de reptiles respectivamente (Flores-Villela & García-Vázquez, 2014). En este estudio, las serpientes son el grupo de interés, particularmente las especies de víbora de cascabel del género *Crotalus*; distribuyéndose un total de nueve especies en Zacatecas: *C. aquilus*, *C. atrox*, *C. basiliscus*, *C. lepidus*, *C. molossus*, *C. polystictus*, *C. pricei*, *C. scutulatus* y *C. willardi* (Lara-Galván et al. 2015).

Las víboras de cascabel representan un conjunto de especies de gran interés desde aspectos ecológicos, de salud pública y etnobiológicos. Este último, es un aspecto esencial en la cultura mexicana ya que, desde tiempos prehispánicos dichos reptiles han sido considerados seres míticos (Gatica-Colima & Jiménez-Castro, 2009), y fundamentales para la forma de interpretar a la naturaleza. Cabe resaltar que no sólo en México se manifiesta esta corriente de pensamiento, autores como Guerra-Roa et al. (2010) hacen alusión de como las sociedades humanas Mesoamericanas han utilizado a la fauna silvestre con diversos fines como el de alimentación, vestimenta, medicina, rituales y símbolos. Por otro lado, Fuentes-Mascorro (2014), mencionan que la fauna también es utilizada a forma de animales de compañía. Situación que se traslada a esta época, ya que, en algunos países en vías de desarrollo, estas prácticas aún son cotidianas. En donde la caza de subsistencia para su alimentación es la razón de uso más antigua (Guerra-Roa et al. 2010). Aunado a ello, las personas en las distintas comunidades son quienes tienen de primera mano, un mayor contacto con estos organismos. Destacando que su cosmovisión será diferente a la de un especialista.

Es importante mencionar que desde tiempos inmemoriales el ser humano se ha fascinado con las serpientes mostrándolas como deidades, seres míticos, demonios o guardianes. El principal ejemplo puede ser Quetzacoátl “Serpiente Emplumada” en la cultura azteca, que participó activamente en la obtención de dones otorgados a los humanos (Lazcano-Villarreal et al. 2010) o Kukulcán, apareciendo comúnmente en la mitología de la cultura maya (Fuentes-Mascorro, 2014). Actualmente, las víboras de cascabel han influido notoriamente en las costumbres, y

principalmente en la identidad de la cultura mexicana; prueba de ello, es que una víbora de cascabel se encuentra plasmada en el escudo nacional (Sigala-Rodríguez & Vázquez-Díaz 1996), por lo tanto dicha percepción aportó información que ayudó a entender mejor el conocimiento y los usos tradicionales que involucran en relación con lo reportado en la literatura sobre las víboras de cascabel.

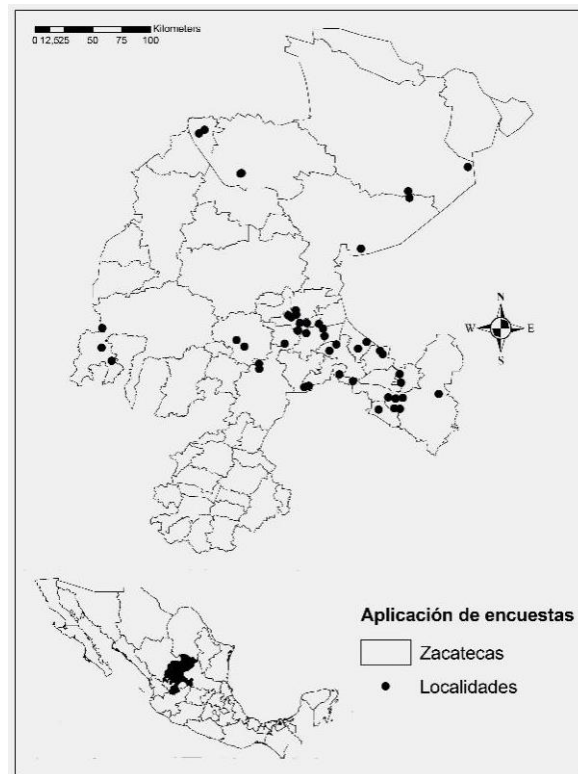
Con base a lo anterior, en este estudio se dan a conocer los principales usos con fines medicinales, alimenticios y materiales, así como aspectos ecológicos y de comportamiento observados por pobladores entrevistados en varias localidades de Zacatecas. También se presenta una recopilación de datos referentes a temas de salud pública como accidentes ofídicos, tratamientos tradicionales e inquietudes por parte de las personas involucradas directa e indirectamente con estos organismos. Finalmente, se listan los mitos más comunes, creencias y charlas de cosmovisión relacionadas a las víboras de cascabel en Zacatecas, México.

## **Métodos**

### **Área de estudio**

El área de estudio fueron 48 localidades ubicadas en 22 municipios del estado de Zacatecas (Figura 13), el cual se encuentra en la zona centro-norte de México, con coordenadas extremas: Al norte 25°07'32", al sur 21°01'48"; al este 100°44'09" y al oeste 104°24'08" (INEGI, 2017). Zacatecas tiene una superficie de 74, 669 km<sup>2</sup>, siendo el octavo Estado con mayor extensión territorial. La altitud promedio del estado oscila entre los 2,100 y los 2,420 msnm. El clima principal en Zacatecas es semiseco. La temperatura media anual es de 17° C. Tomando como punto de referencia la capital del Estado, en Zacatecas las temperaturas más elevadas se presentan en los meses de mayo y junio y las más frías en enero. La precipitación pluvial total promedio anual varía de 200 a 1,000 mm, con 510 mm promedio anual para el Estado (INEGI, 2018). El régimen de lluvias es de verano, siendo los meses de julio y agosto los que mayor precipitación presentan, y de noviembre a abril los que menos (Climate Data, 2018). En lo referido a la población estatal, de acuerdo al (INEGI, 2017), en 2015 estaba conformada por 1, 579, 209 habitantes de las cuales las mujeres representan el 51.21 % de la población total. De esta, el 41 % habita en localidades rurales. Resalta que dentro de la entidad convergen cuatro grupos de habla indígena: Huichol, el náhuatl,

tlapaneco y el tepehuano (INEGI, 2017), siendo el primero donde se consiguió tener un acercamiento sobre la percepción local de las víboras de cascabel.



**Figura 13.** Localidades de aplicación de encuestas en el estado de Zacatecas.

### Aplicación de entrevistas

Con la finalidad de obtener información sobre los usos tradicionales, mitos, así como recopilar conocimiento sobre la ecología y biología de las víboras de cascabel del género *Crotalus* en Zacatecas, se aplicaron 240 entrevistas de tipo semi-estructuradas y abiertas en 48 localidades (CONABIO, 2018); distribuidas en 22 municipios. Dichas localidades (Figura 13) fueron seleccionadas con base en los mapas de distribución potencial de las víboras de cascabel en Zacatecas realizados previo a esta parte de la investigación, tomando en cuenta las áreas que indicaban la mayor probabilidad de distribución de estos ofidios. Los municipios seleccionados fueron: Genaro Codina, General Francisco R. Murguía, General Pánfilo Natera, Guadalupe, Jerez, Juan Aldama, Loreto, Luis Moya, Mazapil, Morelos, Ojocaliente, Pánuco, Pinos, Trancoso,

Valparaíso, Vetagrande, Villa de Cos, Villa García, Villa González Ortega, Villa Hidalgo, Villanueva y Zacatecas

Una vez elegidos los municipios con base en los mapas de distribución potencial de las víboras de cascabel de Zacatecas, para 19 municipios se seleccionaron dos localidades de máxima probabilidad de ocurrencia y tres en el caso de Loreto, Pinos y Valparaíso; tomando en cuenta los mismos parámetros. En cada sitio se aplicaron cinco entrevistas, la forma de aplicación de estas se llevó a cabo de dos formas: En el primer caso el 40 % (n=2), estuvieron dirigidas a personas con mayor contacto con estas especies, es decir, pastores, agricultores, ganaderos, recolectores y comerciantes de fauna silvestre (serpientes, roedores y zorrillos); el 60 % (n=3) restante se aplicaron al azar tratando de cubrir todos los rangos de edad posibles, los cuales corresponden a: 0-10, 11-20, 21-30.31-40, 41-50, 51-60, 61-70, 71-80, 81-90 y > 90 años y en ambos géneros.

La entrevista consistió en preguntas con repuestas opcionales y abiertas. En donde se incluyeron cuestiones sobre: a) datos personales del entrevistado, incluyendo el género, la edad, grado de escolaridad y ocupación; b) tipo de encuentro que han tenido con estos reptiles, c) la biología de la especie; incluyendo hora aproximada, lugar y época de avistamiento. Dicha serie de preguntas fue aplicada con ayuda de un catálogo fotográfico de las nueve especies de víboras de cascabel presentes en el Estado: *Crotalus aquilus*, *C. atrox*, *C. basiliscus*, *C. lepidus*, *C. molossus*, *C. polystictus*, *C. pricei*, *C. scutulatus* y *C. willardi* (Ávila-Herrera, 2012; Lara Galván, 2015). En donde la persona elegía las fotografías de las especies con las que había tenido algún acercamiento; d) nombres comunes locales, características de comportamiento, las implicaciones de conservación para estos organismos y su importancia en los ecosistemas; e) el consumo de estas serpientes, ya sea propio o por otra persona y, en caso de ser afirmativo: ¿con qué fin?; f) el conocimiento de algún accidente ofídico (mordedura), las consecuencias y atenciones de este; g) la reacción que presentaron al encontrarse con estos organismos, si la dejan tranquila o la matan; adicionalmente, h) se pidieron datos sobre la cotidianidad de avistamiento en un determinado lapso de tiempo y una pregunta sobre la disposición de recibir mayor información, cursos, charlas y talleres de manejo de alguna especie del género *Crotalus*; i) en el último apartado se hace referencia a todo aporte, anécdota, mito o creencia sobre las víboras de cascabel y relato sobre el misticismo acerca de las víboras de cascabel de un grupo de personas del grupo étnico huichol. También se cuenta con el testimonio de la venta de fauna silvestre como insumo alimenticio,



obteniendo información sobre el método de caza, precios, así como las especies que comercializa, partes del cuerpo de la víbora que vende, y razones en entorno a la caza para estos organismos.

## Resultados

Se entrevistaron (Figura 14) un total de 240 personas (n=240) en 48 localidades del estado de Zacatecas. De los cuales el 59.16 % (n=142) correspondieron a hombres y el 40.84 % (n=98) a mujeres. En lo referido a los rangos de edad, el grupo de personas de 31-40 años y de 41-50 años fueron los que mayor cantidad de cuestiones respondieron, representando el 38.33 % del total. Por el contrario de los grupos de los 0-10, 81-90 y >90 años fueron los menos encuestados.

Aproximadamente el 40.41 % (n=97) de las personas entrevistadas cuentan con educación básica (primaria), el 12.5 % (n=30) no cuentan con ningún grado de escolaridad y el 2.5 % (n=6) poseen estudios de grado universitario (licenciatura). La actividad laboral predominante fue la agricultura (29.58 %, n=71), seguido de las que se dedican al hogar (26.25 %, n=63). En tercer sitio aquellas personas que realizan actividades relacionadas a la producción, crianza, cuidado y venta de algún tipo de ganado bovino y/o caprino, así como la producción láctea y pastoreo (10.41 %, n=25). El resto de los encuestados se dedican al comercio, construcción y enseñanza básica.

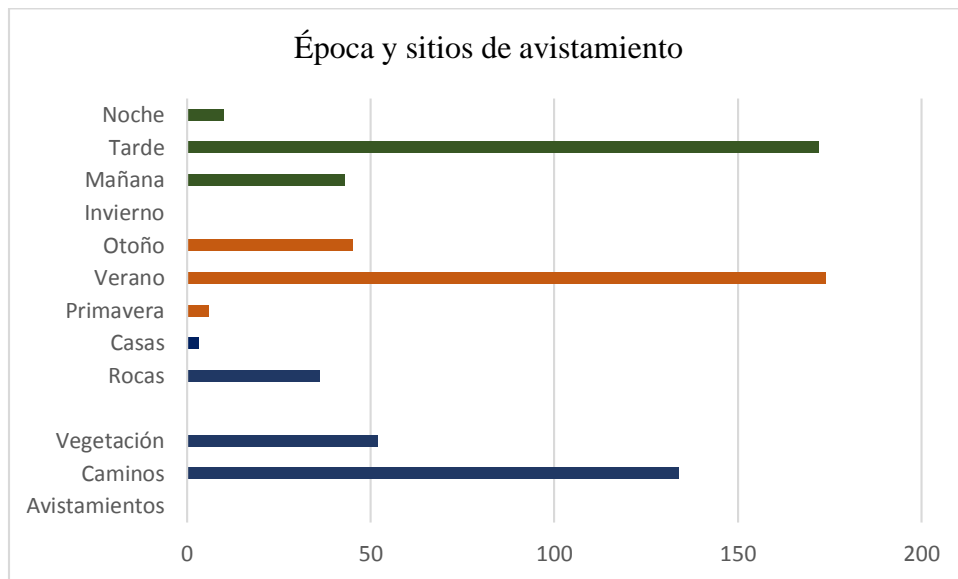


**Figura 14.** Aplicación de encuestas etnobiológicas (Ojocaliente, Zacatecas).

El avistamiento de víboras de cascabel fue elevado, ya que el 93.75 % (n=225) tuvo algún tipo de encuentro con estos organismos (Figura 15); mencionando que las carreteras y los caminos de

terracería son los lugares donde mayor número de avistamientos tuvieron, representando cerca del 55% del total (n=134). Señalando además avistamientos de estos reptiles en o cerca de algún tipo de vegetación no especificada, sin embargo, hicieron referencia a ejemplares de los géneros *Dasyllirion* spp., *Echinocactus* spp., *Jatropha* spp., *Larrea* spp., *Opuntia* spp., *Pinus* spp., *Quercus* spp. y *Yucca* spp. Finalmente, una mínima proporción (1.25 %, n=3) dijeron haber encontrado alguna especie de *Crotalus* dentro de sus hogares.

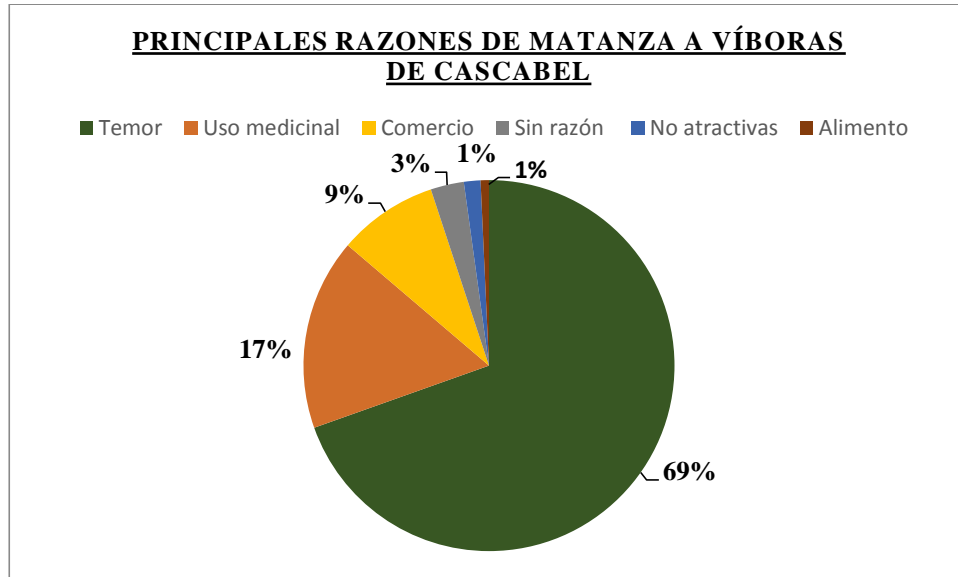
En lo referido a sus hábitos de vida, la mayoría (71.67%) de los avistamientos ocurrieron por la tarde, es decir, a partir del mediodía hasta las 19:00 horas, siendo la noche y las primeras horas del día, el tiempo menos propicio para encontrarles; tres cuartas partes de los informantes (n=174) tuvieron avistamientos de estos organismos principalmente en verano, durante y después del inicio de la lluvia; con menor frecuencia 18.75 % (n=45) en otoño.



**Figura 15.** Época y sitios de avistamiento de víboras de cascabel por parte de las personas entrevistadas.

Por otro lado, el 57.5 % (n=138) de las personas matan a las víboras de cascabel, siendo las razones más comunes (Figura 16): a) peligrosidad y temor de algún ataque o mordedura a ellos, a su ganado y animales de compañía, b) uso medicinal, c) comercializarla entera o alguna parte de su cuerpo (piel, crótalo, carne, colmillos y grasa), d) sin razón aparente, e) les son visualmente poco atractivas

y f) como alimento. En una media etaria de 44 años del total de los entrevistados, el 61.25 % (n=147) hizo alusión a que en un lapso de 10 años atrás era más común la observación de estos organismos y conforme al paso de los años, dichos avistamiento han decrecido notoriamente.



**Figura 16.** Principales razones de muerte a víboras de cascabel en Zacatecas, México.

A continuación (Cuadro 6), se enlistan los nombres locales de las víboras de cascabel, mencionando con que especies son confundidas y aspectos de comportamiento y creencias relacionadas con estas especies en el estado de Zacatecas.

**Cuadro 6.** Recopilación de información específica de cada especie de víbora de cascabel en Zacatecas.

Nombre científico	Nombre local	Confundida con	Comentarios de comportamiento	Creencia
<i>C. aquilus</i>	-Víbora de cascabel -Víbora flor de peña (Villa García)	<i>C. lepidus</i>	--	--
<i>C. atrox</i>	-Víbora de cascabel -Cascabel diamantada -Cascabel cola de mapache	--	Temperamento agresivo.	--
<i>C. basiliscus</i>	-Víbora de cascabel -Cascabel tropical	<i>C. molossus</i> y <i>C. scutulatus</i>	Es encontrada cerca de los ríos y en sitios con	

	-Cascabel de los ríos		temperatura y humedad elevadas.	--
<i>C. lepidus</i>	-Víbora negra -Víbora de montaña -Víbora prieta -Víbora de las peñas -Víbora verde -Borreguera	<i>C. aquilus</i>	Es la especie de víbora de cascabel con el temperamento más tranquilo.	Se le atribuye ese nombre local debido a la ocupación que presenta entre terrenos rocosos, logrando camuflarse con el entorno. Las hembras son de color gris y suelen ser más tranquilas y los machos verdes.
<i>C. molossus</i>	-Víbora amarilla -Víbora de cascabel serrana -Víbora negra -Víbora prieta -Cascabel de cola negra	<i>C. basiliscus</i> y <i>C. scutulatus</i>	Tiene un temperamento agresivo.	Se le conoce como víbora serrana porque en la época de lluvia baja a los poblados, “arrastrada” por la lluvia.
<i>C. polystictus</i>	-Víbora de cascabel	--	--	--
<i>C. pricei</i>	-Víbora negra -Víbora ceniza -Cascabel parda -Borradilla (Villa García)	<i>C. lepidus</i>	Tiene preferencia por suelos rocosos.	--
<i>C. scutulatus</i>	-Víbora de cascabel -Cascabel amarilla	<i>C. basiliscus</i> y <i>C. molossus</i>	Es una especie agresiva.	Su veneno es el más potente de todas las víboras de cascabel.
<i>C. willardi</i>	-Víbora de cascabel café -Cascabel de montaña	--	Es una especie tranquila.	Se le encuentra en las zonas altas de la montaña (áreas de pino-encino).

## Conocimiento biológico local

Gracias a la información obtenida durante la aplicación de las entrevistas, fue posible recopilar datos sobre la biología de estas especies. Los pobladores señalaron que las víboras de cascabel poseen un método de alerta mediante el ajetreo de su crótalo “cascabel” antes de atacar y, que estas sólo lo hacen con la intención de la inoculación de veneno a presas que les sirven de alimento y como mecanismo de defensa al sentirse amenazadas. Mencionaron además, que la mayoría de los avistamientos que tuvieron fueron de manera tranquila y que estas no son agresivas al primer contacto, incluso hacen comparación con otras especies como el alicante (*Pituophis* spp.) al que consideran más agresivo.

Por otro lado, indicaron que es común encontrarlas después del inicio del período de lluvia, sobre todo durante la segunda mitad del verano y comienzo del otoño; ya que estas emergen de sus madrigueras a captar la energía solar para calentar su cuerpo. También se hizo énfasis sobre la baja probabilidad de encontrarlas durante períodos prolongados de lluvia, pero una vez que esta termina vuelven a emerger de sus escondites. Además, es frecuente verlas sobre caminos y carreteras, debido a que en estos conservan la energía térmica solar. Finalmente, aseguraron que la probabilidad de mayor avistamiento es en los meses de agosto y septiembre cuando se encuentran en período de “brama” (apareamiento) y hacen alusión al parecido de una danza con sus rituales de cortejo.

En cuanto al tipo de hábitat y alimentación, es común encontrarlas en una amplia variedad de ecosistemas, desde el matorral a las zonas de pino encino, es un rango de temperatura de los 15° C hasta > 30° C. Los entrevistados mencionan que *C. molossus* es común encontrarla durante la preparación de los campos de cultivo (alfalfa, chile, frijol y maíz principalmente), ya que éstas se introducen en madrigueras de mamíferos pequeños y medianos, los cuales les sirven de alimento, tal como algunos roedores y conejos; les atribuyen función de reguladores naturales de plagas o consumidores de cultivos. Adicionalmente, mencionan que las víboras de cascabel también consumen pequeñas aves y reptiles como lagartijas, que a su vez son los controladores de insectos, implicando un papel en la cadena trófica. Finalmente, mencionaron que esta especie tiene una preferencias por terrenos con nopales (*Opuntia* spp.).

En el caso de *C. lepidus*, expusieron que es una especie común de encontrar en el Estado; durante la aplicación de las entrevistas los pobladores mencionaron verlas en localidades, las cuales correspondían a sitios con una altitud mayor a los 1,500 msnm y en suelos principalmente rocosos, que le sirven como escondite para reproducción, alimentación y descanso. Además, dijeron que es usual encontrarlas en zonas urbano-rurales, pero tienden a localizarse en sitios con poca población humana o alteración por el ganado bovino y caprino. Esta especie presenta dimorfismo sexual, siendo la hembra de un color grisáceo y con un cuerpo más estilizado, y el macho es de color verdoso, pero de cuerpo más robusto y pesado.

Por último, los entrevistados mencionan que sus depredadores naturales son los halcones, águilas y correcaminos, asegurando tener avistamientos de enfrentamientos entre estos animales. Hacen

una importante mención de gatos domésticos como principales cazadores no naturales de las víboras de cascabel y otros reptiles, así como pequeñas aves y mamíferos.

### **Accidentes ofídicos**

Los animales domésticos más atacados por las víboras de cascabel son el ganado bovino, ya que muchas veces estos ofidios se encuentran posando o desplazándose por pastizales. Sitios donde el ganado se alimenta. La mayoría de las personas que aseguraron haber sido mordidas por alguna especie de víbora del género *Crotalus*, aconteció a causa de introducir las manos y pies en orificios formado en grandes rocas o madrigueras para la extracción de roedores. Además, de no contar con protección como guantes, y calzado cerrado. Algunos síntomas mencionados fueron: hinchazón, enrojecimiento, náuseas, mareos, vómitos, pérdida de la conciencia, delirios, ataques de ansiedad, punzadas y pérdida temporal de la visión. La mayoría de los casos fueron atendidos con remedios tradicionales como la ingesta de leche de vaca, infusiones, succiones, compresas frías, entablillamientos, suspensión de la circulación en la zona afectada y reposo; las principales razones de estas acciones se debió a que los centros de salud se encuentran muy alejados de las poblaciones o por la imposibilidad de trasladarse a uno de ellos, o porque dichos lugares no cuentan con la cantidad e información necesaria de los sueros antiviperinos. En el caso del ganado dijeron que hinchazón se manifiesta en la cabeza o extremidades, la cual es tratada de forma eficaz punzando con una puya de palma (*Yucca* spp.) sobre la herida. Además, se detectó una mayor incidencia de accidentes ofídicos hacia los hombres que a las mujeres, esto puede deberse al tipo de oficio que desarrollan los primeros; el cual se lleva a cabo principalmente en el campo.

A continuación, se presentan los principales usos tradicionales a las víboras de cascabel, dicha información es presentada por categorías.

### **Implicaciones medicinales**

Los pobladores mencionaron que las víboras de cascabel son útiles en el tratamiento de enfermedades como el cáncer (sin especificar de qué tipo), enfermedades cutáneas (acné, paño y manchas en la piel); otros usos médicos citados fueron el tratamiento de complicaciones

relacionadas con alergias, afecciones cardiacas, reumáticas, dolores musculares y de articulaciones; tratamiento para la lepra, el herpes, diabetes y anemia. El método de aplicación para este tipo de padecimientos es mediante el consumo directo de los organismos, a los cuales se les retira la piel, la cabeza y el cascabel, se procede a un secado natural y trituración, incluyendo el esqueleto. Posteriormente son encapsuladas y consumidas. Para padecimientos como diabetes y anemia, se consume su carne (sin esqueleto) en “caldos” y aditamentos en sus alimentos a manera de sal de mesa. Por otro lado, la purificación del torrente sanguíneo y la reducción de obesidad fueron otras razones de consumo, aunque menos aludidas en comparación con las primeras. Finalmente, se hace referencia que estos organismos ayudan a prevenir la fractura de huesos y resequead de los labios, aplicándose en forma de ungüentos. Además, aseguraron que dichos reptiles son fuente natural de vitaminas (Figura 17).



**Figura 17.** Maneras más comunes de consumo de víboras de cascabel en Zacatecas.

- a) Secado de manera natural, consumo de su carne. b) Triturada y encapsulada. c) Uso como ungüento.

De acuerdo a la identificación con ayuda del catálogo de especies y la visualización directa de los organismos, las especies mayormente mencionadas para consumo fueron: *C. atrox*, *C. basiliscus* y *C. molossus*. De igual forma es indiferente la edad del organismo consumido, asegurando que los organismos adultos contienen un mayor volumen de carne y los juveniles una textura más suave de la misma.

## Implicaciones comerciales

Estas serpientes son cazadas por interés económico, se utilizan para la elaboración de cobertura de cinturones, adornos, calzado, carteras y revestimiento de sillas. Se menciona también la utilización de sus crótalos (cascabel) y la cristalización de sus colmillos a forma de collar. Estos organismos también son comercializados como animales de compañía para coleccionistas. El precio de las víboras de cascabel muertas entre los \$50 y \$150 MX MN, y puede ser > \$500 MX MN cuando se entregan al consumidor aún con vida. Las especies con mayor persecución debido al tamaño de las mismas (relación tamaño precio: mayor longitud = mayor valor), son *C. atrox* y *C. molossus*.

Gran parte de los entrevistados mostraron temor hacia estos organismos, explicando que estas son eliminadas en su mayoría por miedo o sin razón alguna. Fue posible entrevistar a una persona dedicada a la caza de víboras de cascabel, roedores, conejos, liebres y zorrillos en las afueras de un mercado en la capital del estado de Zacatecas. Esta persona mencionó en lo referido a las víboras de cascabel que caza  $\pm$  5 ejemplares semanales (Figura 18), todas provenientes del municipio de Villa de Cos, el cual está situado al centro-este del Estado. Dicha actividad es realizada como medio de subsistencia económica y, cada organismo tiene un valor de \$150.00 MX MN aproximadamente. Además, indicó que su método de caza es de manera oportunista, ya que él se dedica principalmente a la caza de roedores y al abrir las madrigueras que estos construyen debajo de nopales o magueyes, son encontradas las víboras de cascabel. En la (Figura 18) se muestran algunas de las especies puestas en venta: *C. atrox* es la especie más comercializada, seguida de *C. molossus*; ambas reportadas para esta región del Estado. Por último, el entrevistado aseguró que cada vez es más complicado encontrar el mismo número de organismos, ya que esta cantidad descende a lo largo de las estaciones y anualmente, por lo que decidió ampliar su mercado a otras especies de fauna como lo es la venta de carne de conejo, liebre y zorrillo. Haciendo referencia a la notoria escasez local de estas especies.





**Figura 18.** Venta de víboras de cascabel en la ciudad de Zacatecas.

### **Implicaciones de conservación**

Gran parte de las personas entrevistadas (83.75%, n=162) se mostró interesada en obtener mayor información sobre las víboras de cascabel, incluso tuvieron curiosidad por el material fotográfico y bibliográfico presentado, aseverando que les gustaría recibir información sobre la biología de estas especies, técnicas de manejo e incluso primeros auxilios en caso de algún accidente ofídico. Sólo dos personas dedicadas a la educación básica indicaron su interés para la impartición de charlas a los jóvenes sobre estos organismos, indicando que en la región donde laboran (Villa García) existe una abundante cantidad de fauna silvestre, y mencionaron que son los niños menores de 10 años quienes tienen mayor contacto con estos reptiles. De igual forma una persona dedicada al área de salud pública enfatizó su interés por talleres básicos sobre la atención médica en las comunidades rurales; ya que en estos sitios ocurren la mayor cantidad de accidentes ofídicos y no cuentan con los aditamentos, ni la cantidad suficiente de faboterápicos polivalentes antiviperinos para el tratamiento adecuado de las personas afectadas, teniendo que canalizar la mayoría de los casos de envenenamiento a la Ciudad de Zacatecas.

## Mitos y percepciones

A continuación, se enlistan (Cuadro 7), los principales mitos y percepciones en torno a las víboras de cascabel (*Crotalus* spp.) en Zacatecas.

### **Cuadro 7.** Principales mitos y percepciones sobre las víboras de cascabel en Zacatecas, México.

Compilación.

- Cada segmento del cascabel representa un año de vida, reflejando la edad del animal.
- Gran porción de los pobladores dijeron eliminar a estos organismos por miedo a una mordedura alegando que en caso de que ocurra esta se tiene como consecuencia la muerte; desconociendo en su mayoría la existencia del faboterápico polivalente antiviperino como tratamiento.
- Dejar una víbora viva cuando se tiene la oportunidad de aniquilarla es considerado pecado, ya que esta puede atacar posteriormente a otra persona.
- En caso de mordedura y de que la persona no muera, a los años siguientes la marca de los colmillos vuelve a “retoñar” (aparecer).
- Estos reptiles tienen un mal olor, semejante al excremento del ganado bovino.
- El cortejo de apareamiento es similar a una “lucha” o “baile” en donde los ofidios quedan erguidos y se entrelazan.
- Las víboras de cascabel poseen la capacidad de quitarse los colmillos al momento de beber agua, con la finalidad de no envenenarse a sí mismas.
- La carne de la víbora de cascabel contiene las mismas propiedades nutricionales que la carne de pescado.
- El color de la víbora varía de acuerdo al terreno donde ésta se sitúa; tornándose grisáceo aquellas especies con preferencia por suelos rocosos como ejemplo a *C. lepidus*.
- La presencia/ausencia de las víboras de cascabel es relacionada directamente con la disminución o aumento respectivamente de los roedores en los campos de cultivo y áreas cercanas a los poblados.

## Cosmovisión

Por último, se entrevistó a un grupo de personas de la etnia Huichol (Figura 19), quienes fueron los únicos que hicieron referencia a “*ku*” como organismos distintos en la naturaleza. Otorgándoles atribuciones sobrenaturales; señalando que son los guardianes de los bosques y fueron enviados a la tierra por un Dios para la protección de los recursos de la tierra. Además mencionaron que son los chamanes quienes tienen la posibilidad de entender a estos organismos y son los mediadores de estos con su Dios. Aseguraron que los chamanes cuentan con la capacidad de tratar cualquier enfermedad o padecimiento de forma natural, inclusive hasta el envenenamiento por víbora de cascabel, mediante la aplicación de plantas presentes en la región, acompañadas de una serie de rezos y cánticos. También señalaron que las víboras de cascabel pueden ser vistas en sueños, indicando abundancia en época de lluvia y por ende la posibilidad de mantener sus cultivos de traspatio. Finalmente, hacen referencia a que estos organismos son una parte esencial de la cadena trófica y se les debe respeto como a cualquier otro ser vivo de la tierra.



**Figura 19.** Muestreo de víboras de cascabel en Zacatecas, México (Fotografía de Emmeth Rodríguez-Pérez).

## Discusión

Las personas de mediana y mayor edad fueron las que proporcionaron más información sobre las víboras de cascabel. De igual forma, aquellas personas que cuentan solamente con estudios básicos otorgaron mayor número de datos útiles. De acuerdo a los resultados obtenidos por medio de los entrevistados, los hombres presentaron mayor frecuencia de accidentes ofídicos; esto puede deberse a que este grupo se encuentra en mayor medida expuesto a tal situación por su trabajo, el cual está estrechamente ligado al campo (agricultura, venta de fauna silvestre, cuidado y cría de ganado).

Las especies con mayor uso comercial y medicinal fueron *C. atrox* y *C. molossus*, coincidiendo con lo observado durante el trabajo de campo y la aplicación de las entrevistas. Además, dichas especies fueron las más identificadas por los pobladores y correspondientes a su área de distribución.

Los pobladores mencionan la preferencia de *C. basiliscus* hacia regiones de bosque tropical y de *C. pricei* y *C. willardi* hacía zonas templadas de pino-encino, información en concordancia con lo mencionado por Prival et al. (2002) y Campbell & Lamar (2004).

Los usos medicinales más comunes de estos organismos fueron para el tratamiento de enfermedades tipo cáncer y padecimientos dermatológicos, lo cual también es abordado por (Gómez-Álvarez et al. 2007) y (Enríquez-Vázquez et al. 2006) en el Estado de Chiapas. Sin embargo, no se cuenta con literatura disponible donde confirme que el consumo de víbora de cascabel ayuda a curar los padecimientos aquí señalados. Al respecto, Gatica-Colima & López (2008) mencionan la necesidad de indagar en estudios relacionados con estas prácticas de consumo y el procesado de los organismos.

La presión ejercida por los recolectores sobre las víboras de cascabel, repercute notoriamente en la viabilidad de sus poblaciones, ya que estos mencionan que anualmente sus poblaciones van decreciendo, aunado al asentamiento de nuevas empresas dedicadas a la producción minera (SGM, 2014), siendo modificado su entorno drásticamente. Además, se puede mencionar como factor extra el hecho de que animales domésticos como los gatos (*Felis silvestris catus*) son consumidores de estos reptiles, sobre todo de ejemplares juveniles, hecho que también confirma en su investigación (Arnaud, 2005). De acuerdo a la (SEMARNAT, 2018), la mayoría de estas especies

se encuentran en alguna categoría de riesgo, confirmando que sus poblaciones sufren alguna modificación en su estabilidad.

Las personas concentradas en las localidades rurales son las que tienen un mayor conocimiento sobre las víboras de cascabel. Por otro lado, los pobladores de zonas urbanas tienen una mala percepción de estos organismos, contrario a aquellas personas concentradas en las comunidades indígenas; resaltando el potencial de estos reptiles y la importancia en sus costumbres, inclusive fueron los únicos entrevistados que otorgaron un título de divinidad a estas.

## **Conclusiones**

- Las personas de mediana y mayor edad son las que tienen un mayor conocimiento acerca de las víboras de cascabel.
- Las personas dedicadas a los trabajos relacionados con el campo como la agricultura, la ganadería y la caza de subsistencia fueron las que mayor información proporcionaron de estos organismos, y son el grupo que mayor afección tiene en lo referido a accidentes ofídicos.
- El consumo medicinal fue la principal razón por la cual son altamente perseguidas, siendo el cáncer y padecimientos de la piel las enfermedades más citadas. Sin embargo, no se cuenta con evidencias suficientes para comprobar el éxito de tratamiento para dichas afecciones.
- Las especies de las cuales se obtuvo una mayor información fueron *C. atrox* y *C. molossus* en contraparte con *C. pricei* y *C. willardi* para las que la información fue mínima.
- Se dan a conocer los principales nombres comunes que tienen estos organismos en el Estado; además, se proporcionan datos relacionados con su ecología y biología básica de manera local. Se recomiendan los meses de agosto a octubre para la realización de trabajo de campo, con la finalidad de aumentar las posibilidades de avistamiento y obtención información.
- Se hizo una recopilación de los principales mitos y creencias que giran en torno a este grupo de organismos.

- La cacería de subsistencia ejerce una fuerte presión local en las poblaciones de víboras de cascabel en algunas regiones del Estado, particularmente en el municipio de Villa de Cos; aunque se reportan frecuentes avistamientos en esta zona, los mismos pobladores y personas dedicadas al comercio de estos organismos, indicaron la disminución de su presencia a lo largo de los años. Mencionando adicionalmente el cambio de uso de la tierra y el notorio crecimiento del campo de la minería en Zacatecas, como razones de afección.
- Es necesario realizar estudios más profundos sobre las poblaciones de estos organismos en la Entidad.
- Finalmente, este estudio representa un acercamiento al conocimiento local, percepción y usos tradicionales que se tiene sobre las víboras de cascabel en el estado de Zacatecas.

## Agradecimientos

J.L.L.G. agradece a Chris Grundwald y Eric Centenero-Alcalá por el préstamo desinteresado de material fotográfico de *C. basiliscus* y *C. polystictus*, el cual sirvió de apoyo durante la realización de las entrevistas en campo.

## Referencias

- Arnaud, G. (2005). Aspectos ecológicos de la serpiente de cascabel de la Isla Catalina *Crotalus catalinensis*, Golfo de California, México. *Revista Digital de Divulgación Científica*. <https://doi.org/10.18846/RENAYSOC.2015.01.01.01.0005>
- Ávila-Herrera, L. (2012). *Serpientes Venenosas del estado de Zacatecas, México*". Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Campbell, J. & Lamar, W. (2004). *The Venomous Reptiles of the Western Hemisphere*. Comstock, Cornell University Press. <https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2004.12.001>
- CONABIO. (2017). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Retrieved from <http://www.conabio.gob.mx>
- Climate Data. (2018). Retrieved from <https://en.climate-data.org/>.
- Flores-Villela, O. & García-Vázquez, U. O. (2014). Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85 (SUPPL.), 467–475. <https://doi.org/10.7550/rmb.43236>

- Fuentes-Mascorro, G. (2014). La Serpiente De Cascabel Como Recurso Zoogenético. *Actas Iberoamericanas*, 4(January 2014), 300–304. Retrieved from [http://www.uco.es/conbiand/aica/templatemo\\_110\\_lin\\_photo/articulos/2014/getfile.php?name=Trabajo071\\_AICA2014](http://www.uco.es/conbiand/aica/templatemo_110_lin_photo/articulos/2014/getfile.php?name=Trabajo071_AICA2014)
- Gatica-Colima, A. & López, J. (2008). *Enterobacterias aisladas de la carne fresca de víboras de cascabel de Chihuahua, México*. Varadero, Cuba.
- Gatica-Colima, A. & Jiménez-Castro, J. A. (2009). Serpientes de cascabel: percepción por algunos pobladores del desierto chihuahuense en el estado Chihuahua. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 5(3), 198–204.
- Gómez-Álvarez, G., Reyes Gómez, S. R., Teutli Solano, C. & Valadez Azúa, R. (2007). La Medicina Tradicional Prehispánica, Vertebrados Terrestres y Productos Medicinales de tres Mercados del Valle de México. *Etnobiología*, 5(2005), 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.freeradiomed.2008.08.028>
- Guerra-Roa, M. M., Calmé, S., Tessaro-Gallina, S. & Naranjo-Piñera, E. J. (2010). *Uso y manejo de Fauna Silvestre en el norte de Mesoamérica*. Xalapa, Veracruz, México.
- INEGI. (2017). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx/>. Última consulta 10/2018.
- Sigala-Rodríguez, J. J. & Vázquez-Díaz, J. (1996). *Serpientes venenosas de Aguascalientes*.
- Lara-Galván, J. L. (2015). *Serpientes venenosas de Aguascalientes y Zacatecas: Patrones de distribución y riqueza de especies*. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Lazcano-Villarreal, D., Banda-Leal, J. & Jacobo-Galván, R. D. (2010). *Serpientes de Nuevo León*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Prival, D., Goode, M., Swann, D., Schwalbe, C. & Schroff, M. (2002). Natural History of a Northern Population of Twin-Spotted Rattlesnakes, *Crotalus pricei*. *Journal of Herpetology*, 36(4), 598–607.
- SEMARNAT (2018). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM- 059-SEMARNAT.
- SGM. (2014). *Sistema Geológico Mexicano. Panorama Minero del Estado de Zacatecas. Secretaría de Economía*.
- Enríquez-Vázquez, P., Mariaca-Méndez, R., Retana-Guiascón, O. G. & Naranjo-Piñera, E. J. (2006). Uso medicinal de la fauna silvestre en los altos de Chiapas, México. *Interciencia*, 31(7), 491–499.

## CONCLUSIONES GENERALES

- El estado de Zacatecas cuenta con un total de nueve especies de víboras de cascabel: *C. aquilus*, *C. atrox*, *C. basiliscus*, *C. lepidus*, *C. molossus*, *C. polystictus*, *C. pricei*, *C. scutulatus* y *C. willardi*, representando el 19 % del total de las especies que integran el género *Crotalus*.
- Se reporta la presencia de estas especies en 37 de los 58 municipios que conforman la Entidad; siendo Fresnillo, Sombrerete y Valparaíso los que mayor diversidad de especies presentaron.
- Las especies con mayor presencia en Zacatecas son: *C. atrox*, *C. lepidus*, *C. molossus* y *C. scutulatus*, en contraparte con *C. aquilus*, *C. pricei* y *C. willardi* de las cuales se cuenta con pocos registros de ocurrencia.
- De acuerdo a los MDE elaborados a partir de la técnica de 'sdm', todo el territorio Zacatecano cuenta con las condiciones mínimas ambientales y ecológicas para la distribución de estas especies, teniendo algunas zonas elevada probabilidad de presencia de una o varias especies.
- La validación de los mapas de distribución potencial fue comprobada en campo, logrando aumentar los registros de ocurrencia de estas especies. Sin embargo, se alienta a redoblar esfuerzos de muestreo, sobre todo para aquellas especies de las que se cuenta con poco conocimiento de su distribución en Zacatecas.
- Se obtuvo información local sobre su ecología, comportamiento, nombres comunes y se enlistan las principales creencias, mitos y percepciones alrededor de las víboras de cascabel en Zacatecas.
- El miedo que se presenta hacia estos organismos representa su principal causa de exterminio. Gran parte de los pobladores aseveró matar a estos organismos cuando tiene la oportunidad, debido a su peligrosidad y lo visualmente poco atractivas que les parecen.
- Zacatecas cuenta con una arraigada tradición en el consumo de víbora de cascabel, donde un alto porcentaje de personas asegura consumir estos organismos de diversas formas, como la ingesta directa, secándolas, triturándolas o en ungüentos.
- Las especies mayormente comercializadas son *C. atrox* y *C. molossus*.



- El principal uso que se les da a estos organismos es para el tratamiento de enfermedades, donde el cáncer fue el padecimiento que mayor mención tuvo. Sin embargo, no se cuenta con la evidencia necesaria que pruebe su eficacia.
- Otras causas con repercusión en la viabilidad de sus poblaciones fueron la fragmentación de sus hábitats y la depredación por felinos no silvestres, como los gatos domésticos.
- A estos organismos se les atribuyen poderes curativos y sobrenaturales, otorgándoles el título de protectores de la naturaleza.
- Este estudio sienta las bases para un acercamiento real al conocimiento de este grupo en el Estado y sus implicaciones de conservación. Se sugiere hacer el uso correcto de esta información para la creación de planes de manejo y preservación de las víboras de cascabel en Zacatecas.

## REFERENCIAS GENERALES

- Ahumada-Carrillo, I. T., Vázquez-Huizar, O., Vázquez-Díaz J. & García-Vázquez, U. (2011). Noteworthy records of amphibians and reptiles from Mexico. *Herpetological Review*, 42(2), 397–398.
- Areiras-Guerrero, J., Mira, A. & Barbosa, A. M. (2016). How well can models predict changes in species distributions? A 13-year-old otter model revisited. *Hystrix. Italian Journal of Mammalogy*.
- Arnaud, G., Trujillo, L. B., Hernández, I., Avila, H., Murillo, R. & Quijada, A. (2008). Natural history of the rattlesnake *Crotalus catalinensis*, endemic of Santa Catalina Island, Gulf of California, Mexico. *Estudios de Las Islas Del Golfo de California*, 2001, 93–100.
- Arriaga, L. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *INECC*, 1, 11.
- Ávila-Herrera, L. (2012). *Serpientes Venenosas del estado de Zacatecas, México*". Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Ávila-Villegas, H. (2017). *Serpiente de Cascabel. Entre el peligro y la conservación*. Ciudad de México.: CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Bañuelos-Alamillo, J., Carbajal-Márquez, R. A. & Olvera.-Rivera, M. A. (2016). *Crotalus polystictus*. Distribution. *Mesoamerican Herpetology*, 3, 2007.
- Campbell, J. & Lamar W. (2004). *The Venomous Reptiles of the Western Hemisphere*. Comstock, Cornell University Press. <https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2004.12.001>
- Carbajal-Márquez, R. A., Bañuelos-Alamillo, J. A., Rivas-Mercado, E. A., Quintero-Díaz, G. E. & Dominguez de la Riva, M. A. (2015). *Crotalus basiliscus* ( Mexican West Coast Rattlesnake ). Geographic distribution : Zacatecas. *Herpetological Review*, 46(3), 385.
- Carbajal-Márquez, R. A., González-Saucedo, Z. Y. & Arenas-Monroy, J. C. (2015). *Crotalus aquilus* Klauber , 1952 ( Squamata : Viperidae ), a New State Record for Zacatecas , Mexico. *Acta Zoológica Mexicana*, 31(1), 131–133.

- Cordi, F., Dupre, E. & Boitani, L. (1999). A large-scale model of Wolf distribution in Italy for conservation planning. *Conserv. Biol.*, *13*, 150–159.
- Elith, J., Graham C. H., Anderson R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Maritz, G., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McOverton, J., Peterson, A., Phillips S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. S. & Zimmermann, N.E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, *29*, 129–151.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E. & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, *17*(1), 43–57.  
<https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Flores-Villela, O. & García-Vázquez, U. O. (2014). Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *85*(SUPPL.), 467–475. <https://doi.org/10.7550/rmb.43236>.
- García-Vázquez, U. O. & Méndez de la Cruz, F. (2016). *Reptiles. En: La biodiversidad en la Ciudad de México* (Vol. 2). México: CONABIO/SEDEMA.  
<https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>
- Gloyd, H. K. (1940). *The rattlesnakes, genera Sistrurus and Crotalus. A study in zoogeography and evolution. Special Publication of the Chicago Academy of Science* (Vol. 4).
- González-Rivera, A. R., Chico-Aldama, P., Domínguez-Viveros, W., Iracheta-Gerez, M de la L., López-Alquicira., Cuellar-Ramírez, A. & Zamora, V. (2009). Epidemiología de las mordeduras por serpiente. *Acta Pediátrica Mexicana*, *30*(3), 183–191.
- Guisan, A. & Theurillat, J. P. (2000). Equilibrium modeling of alpine plant distribution: how far can we go? *Phytocoenologia*, *30*(3–4), 353–384. <https://doi.org/10.1127/phyto/30/2000/353>.
- Hirzel, A. H. & Guisan, A. (2002). Which is the optimal sampling strategy for hábitat suitability modelling? *Ecological Modelling*, *157*, 331–341.
- INEGI. (2017). Instituto Nacional de Geografía y Estadística. <http://www.inegi.org.mx/>. Última consulta 10/2018.

- IUCN. (2018). International Union for Conservation of Nature. Red list of threatened species. Retrieved from <http://www.iucnredlist.org>.
- Lara-Galván, J. L. (2015). *Serpientes venenosas de Aguascalientes y Zacatecas: Patrones de distribución y riqueza de especies*. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Lazcano-Villarreal, D. (1996). *Anfibios y Reptiles del Estado de Nuevo León*. México D.F.
- Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R. & Cruz, A. (2016). Amphibians and reptiles of the state of nuevo león, Mexico. *ZooKeys*, 2016 (594), 123–141.  
<https://doi.org/10.3897/zookeys.594.8289>.
- Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R. & Woolrich-Piña, G. A. (2018). Amphibians and reptiles of Durango, Mexico, with comparisons with adjoining states. *ZooKeys*, 2018 (753), 83–106.  
<https://doi.org/10.3897/zookeys.753.21094>.
- Lemos-Espinal, J. & Dixon, J. R. (2013). *Amphibians and reptiles of San Luis Potosí*. Eagle Mountain, Eagle Mountain Publishing.
- Lemos Espinal, J. A. (2008). *Anfibios y reptiles del estado de Coahuila*. *Journal of Experimental Psychology: General*. México D.F.
- McPherson, J. M., Jetz, W. & Rogers, D. J. (2004). The effects of species' range sizes on the accuracy of distribution models: Ecological phenomenon or statistical artefact? *Journal of Applied Ecology*, 41(5), 811–823. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00943.x>
- Mittermeier, R. A., Goettsch-Mittermeier, C. & Robles-Gil, P. (1997). *Megadiversidad: los países biológicamente más ricos del mundo*. Cemex-Agrupación Sierra Madre, México.
- Sillero, N., Barbosa, A. M. & Martínez-Freiría, F. (2010). la herpetología ibérica : pasado ,. *Bol. Asoc. Herpetol. Esp.*, (September 2017), 21.
- Nellemann, C. (2001). BLOBIO - Global methodology for mapping human impacts on the biosphere. Nairobi, Kenia: UNEP.
- Paredes-García, M. D., Ramírez-Bautista, A. & Martínez-Morales, M. A. (2011). Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 689–700.

- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. & Peterson, A. T. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>
- Peterson, A. T. & Shaw, J. (2003). Lutzomyia vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distribution, and climate change effects. *Int. J. Parasitol.*, 33, 919–931.
- Peterson, A. T. & Cohoon, K. P. (1999). Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. *Ecol. Model.*, 117, 154–164.
- Place, A. & Abramson, C. (2004). A Quantitative Analysis of the Ancestral Area of Rattlesnakes. *Journal of Herpetology*, 38(1), 152–156. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1566102>
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J. Dirzo, R., Llorente Bousquets, J., Halffter, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S. & De la Maza, J. (2009). Capital Natural de México: Conocimiento actual, evaluación y perspectivas de Sustentabilidad. Síntesis. *Comisión Nacional Para El Conocimiento Y Uso de La Biodiversidad*, 100.
- Scott, J. M., Heglund, P. J., Morrison, M. L., Haufler, J. B., Raphael, M. G., Wall, W. A. & F. B. S. (. (2002). Predicting Species Occurrences: Issues of Accuracy and Scale. *Island Press*.
- Secretaría de Gobernación. SEGOB. (2014). *Dinámica demográfica 1990-2010 y proyecciones de población 2010-2030*. México D.F.
- SEIF. (2013). *Sistema Estatal Forestal. Programa Anual de Trabajo. (Acuerdos Estataes)*.
- SEMARNAT. (2018). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM- 059-SEMARNAT.
- SGM. (2014). *Sistema Geológico Mexicano. Panorama Minero del Estado de Zacatecas. Secretaría de Economía*.
- Stockwell, D. R. B. & Peterson, A. T. (2002). Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling*, 148, 1–13. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00388-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00388-X)

- Trombulak, S. C. & Frissell, C. A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14, 14:18-30.
- Uetz, P. (editor). (2018). The Reptile Database. Retrieved from <http://www.reptile-database.org>.  
Última consulta 08/2018.
- Valencia-Hernández, A. A. (2006). *Taxonomía y distribución del género Crotalus (LINNEO, 1758) en el estado de Hidalgo*.
- Vázquez-Díaz J. & Quintero-Díaz, G. E. (2005). *Anfibios y Reptiles de Aguascalientes*. (A. . CIEMA, Ed.). CONABIO.
- Vitt, L. J. & Caldwell, J. P. (2009). *Herpetology, an introductory biology of amphibians and reptiles* (3 rd). Academic Press, Amsterdam.
- Welk, E., Schubert, K. & Hoffmann, M. H. (2002). Present and potential distribution of invasive mustard (*Alliaria petiolata*) in North America. *Divers. Distributions*, 8, 219–233.
- Wisn, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H. & Guisan, A. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14, 763–773.
- Yom-Tov, Y. & Kadmon, R. (1998). Analysis of the distribution of insectivorous bats in Israel. *Divers. Distributions*, 4, 63–70.

*Cuando era pequeño, recuerdo pasar horas con mi padre viendo un libro que él tenía sobre los animales del mundo. Sin duda tuve una gran infancia. Ese gusto por la naturaleza que él me transmitía por medio de unas páginas con increíbles fotografías y textos, ¡Me sabía el libro de memoria! y siempre me preguntaba ¿cuándo vería esos animales en su hábitat? Lo recuerdo como si hubiese sido ayer... veinte años después dedico mi vida a ello.*

*Dicen que, si te dedicas a lo que verdaderamente te gusta, serás feliz. Sin embargo, no todos tienen esa oportunidad. Por lo tanto, es nuestro compromiso dar el máximo esfuerzo, amor y dedicación a todo lo que hagamos en la vida, siempre tratando de ser mejores día con día y hacer del mundo un mejor lugar. Gracias.*